



Universidad
Zaragoza

FACULTAD DE ECONOMÍA Y EMPRESA
DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURA E HISTORIA ECONÓMICA Y
ECONOMÍA PÚBLICA

TESIS DOCTORAL

**LA DEMANDA DE AGUA PARA
ACTIVIDADES PRODUCTIVAS
EN UN ENTORNO URBANO**

PRESENTADA POR:

Dña. PILAR GRACIA DE RENTERÍA

DIRIGIDA POR:

Dr. D. RAMÓN BARBERÁN ORTÍ
Dr. D. JESÚS MUR LACAMBRA

ZARAGOZA, 2017

©2017: Pilar Gracia de Rentería

Ninguna parte de esta tesis, incluido el diseño de la cubierta, puede ser reproducida, almacenada o transmitida en manera alguna ni por ningún medio sin permiso previo del autor.

A mis padres,

Agradecimientos

En primer lugar, quiero dar las gracias a mis dos directores de tesis, Ramón y Jesús, sin quienes este trabajo no habría salido adelante. Gracias por haber depositado vuestra confianza en mí desde el primer momento y por vuestra labor de guía y ayuda constante a lo largo de los años de elaboración de esta tesis doctoral. Debo reconocer que éste no sólo ha sido un camino de desarrollo profesional y de adquisición de conocimientos, sino también un proceso de maduración y de crecimiento personal, lo cual debo agradecer profundamente.

Agradezco a Ibercaja y a la Universidad de Zaragoza por la financiación recibida en los primeros años de esta investigación, así como al grupo de investigación “Economía Pública” por su constante apoyo, y al proyecto de investigación “Especificación de modelos econométricos espaciales. Método y práctica” por la financiación recibida en el último año. También quisiera agradecer al Ayuntamiento de Zaragoza, a la Confederación Hidrográfica del Ebro y al Instituto Nacional de Estadística por la información facilitada para la elaboración de esta tesis doctoral.

Gracias también a los profesores de los departamentos de Estructura e Historia Económica y Economía Pública y de Análisis Económico, por haberse preocupado por la evolución de esta tesis doctoral y por los ánimos proporcionados en los momentos más difíciles.

Un agradecimiento especial merecen mis compañeros de doctorado, Eduardo y Ángela, por todos los cafés, congresos, e inquietudes que hemos ido compartiendo en estos años. Y a Hugo, compañero de doctorado, compañero de viaje y una de las personas por las que más admiración siento. Gracias por apoyarme en todo momento, por la infinita paciencia que tienes conmigo y por todo lo que he ido y sigo aprendiendo día a día a tu lado.

Finalmente, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi familia y amigos. Sobre todo a mis padres, por su dedicación no sólo durante la realización de esta tesis, sino durante toda mi vida. Sin vuestra ayuda muchas de las cosas que he logrado no hubiesen sido posibles.

A todos vosotros, gracias.

*Lo que sabemos es una gota de agua;
lo que ignoramos es el océano*

Isaac Newton

Índice

Índice de tablas	v
Índice de figuras	vii
Introducción	1
1 Revisión de la literatura	7
Resumen	9
1.1 Introducción	9
1.2 Características de los datos	11
1.3 Variables explicativas	14
1.3.1 Precio del agua	14
1.3.2 Volumen de producción	18
1.3.3 Factores productivos distintos del agua	18
1.3.4 Sector y rama de actividad	21
1.3.5 Tecnología	21
1.4 Modelos y técnicas de estimación	22
1.4.1 Modelo teórico de referencia	22
1.4.2 Forma funcional	24
1.4.3 Técnica de estimación	25
1.5 Resultados	27
1.5.1 Elasticidad precio directa	27
1.5.2 Elasticidad <i>output</i>	29
1.5.3 Elasticidades cruzadas	30
1.5.4 Impacto de la tecnología	31
1.5.5 Determinantes y elasticidades del agua autosuministrada y el agua reutilizada	31
1.6 Conclusiones	33
2 La demanda de agua urbana para actividades productivas.	
Una aplicación a la industria española con datos agregados	37
Resumen	39

2.1	Introducción	39
2.2	Datos	42
2.3	Especificación y estimación del modelo	51
2.4	Resultados y discusión	58
2.5	Conclusiones.	63
	Apéndices	65
	A Resultados adicionales.	65
3	La demanda de agua urbana para actividades productivas.	
	Una aplicación al municipio de Zaragoza con microdatos	71
	Resumen	73
3.1	Introducción	73
3.2	Caso de estudio	75
3.3	Datos	79
3.4	Especificación del modelo.	85
3.5	Estimación econométrica	87
3.6	Resultados y discusión	91
3.7	Conclusiones.	94
	Apéndices	97
	B Cálculo de la factura y los precios del agua en el municipio de Zaragoza.	97
	C El precio percibido: especificación y resultados preliminares.	101
	D Apéndice estadístico y resultados adicionales	104
4	Los determinantes del autosuministro de agua para actividades productivas en un entorno urbano. El caso del municipio de Zaragoza	109
	Resumen	111
4.1	Introducción	111
4.2	Caso de estudio	114
4.3	Datos	116
4.4	Especificación del modelo y estimación econométrica	122
4.5	Resultados	126
4.6	Conclusiones.	131
	Conclusiones	135
	Bibliografía	141

Índice de tablas

1.1	Características de los datos	13
1.2	Especificación de las variables (I)	17
1.3	Especificación de las variables (II)	20
1.4	Tipo de función, forma funcional y técnicas de estimación	23
1.5	Elasticidad precio directa y elasticidad <i>output</i> del agua	28
1.6	Elasticidades cruzadas entre el agua y el resto de <i>inputs</i>	30
1.7	Elasticidades cruzadas entre los distintos <i>inputs</i> hídricos	33
2.1	Agua para usos urbanos suministrada a través de las redes municipales en España por tipo de usuario	40
2.2	Detalle sectorial y regional de los datos de estudio	44
2.3	Estructura sectorial y regional de la industria española de 20 o más trabajadores	46
2.4	Costes, precios y consumos de <i>inputs</i> en la industria española de 20 o más trabajadores	47
2.5	Análisis de la varianza	48
2.6	Clasificación de las comunidades autónomas según el grado de aridez y el precio del agua	51
2.7	Test de raíz unitaria	54
2.8	Test de cointegración de Pedroni (1999, 2001) para el agregado de la industria y por ramas de actividad y comunidades autónomas	56
2.9	Estimación SUR del modelo <i>translog</i>	57
2.10	Elasticidades directas y elasticidad <i>output</i> para el agregado de la industria y por ramas de actividad	58
2.11	Elasticidades de Morishima entre el factor agua y el resto de <i>inputs</i> para el agregado de la industria y por ramas de actividad	61
2.12	Elasticidades directas y elasticidad <i>output</i> por regiones	62

2.13	Elasticidades de Morishima entre el factor agua y el resto de <i>inputs</i> por regiones	62
A.1	Test de raíz unitaria por ramas de actividad	65
A.2	Test de raíz unitaria por comunidades autónomas	66
A.3	Test de raíz unitaria robustos a correlación transversal por ramas de actividad	67
A.4	Elasticidades de Morishima entre los <i>inputs</i> no hídricos para el agregado y por ramas de actividad y regiones	68
3.1	Comparación del número de empleados de la muestra con los del municipio de Zaragoza en 2012	80
3.2	Sectores y ramas de actividad incluidos en el estudio	82
3.3	Principales magnitudes de la muestra	83
3.4	Contrastes de especificación del modelo	88
3.5	Estimación del modelo	90
3.6	Criterios de selección de modelos	91
3.7	Elasticidades directas y elasticidad <i>output</i>	91
3.8	Elasticidades de Morishima	94
C.1	Estimación del parámetro k por sectores	103
D.1	Principales magnitudes de la muestra de empresas por ramas de actividad	104
D.2	Elasticidades directas y elasticidad <i>output</i> por ramas de actividad	106
D.3	Elasticidades de Morishima por ramas de actividad	107
4.1	Agua empleada por los sectores económicos no agrarios en España	112
4.2	Distribución de las extracciones de agua subterránea en el municipio de Zaragoza según su uso	116
4.3	Estadística descriptiva básica de las variables fundamentales	119
4.4	Principales magnitudes relacionadas con el uso de agua	120
4.5	Modelo de Heckman en dos etapas. Resultados de la estimación	127
4.6	Efectos marginales sobre la probabilidad, el volumen condicionado y el volumen incondicionado de agua autosuministrada	130

Índice de figuras

2.1	Evolución de las principales magnitudes relacionadas con el uso de agua en la industria española de 20 o más trabajadores	47
2.2	Consumo de agua por euro de valor de producción por ramas de actividad	49
2.3	Balance hídrico, consumo de agua por euro de valor de producción y precio del agua por comunidades autónomas	50
3.1	Evolución del consumo registrado de agua, la población abastecida y el empleo en el municipio de Zaragoza	77
3.2	Evolución del precio del agua en el municipio de Zaragoza	78
3.3	Evolución de las principales magnitudes de uso de agua por sectores	84
4.1	Localización del aluvial del Ebro-Zaragoza y del aluvial del Gállego	114
4.2	Uso de agua por euro de valor de producción de las empresas que recurren al autosuministro y por ramas de actividad	121
4.3	Localización de las empresas de la muestra	122

Introducción

El agua es un recurso esencial para la vida humana, el desarrollo económico y la conservación de los ecosistemas. El rápido incremento de la población y la urbanización, la expansión de la agricultura de regadío, el desarrollo de las actividades turísticas y recreativas, el crecimiento de la producción industrial y el cambio climático han ido aumentando progresivamente la presión sobre el recurso, intensificando la competencia por el acceso al agua y agravando los problemas de escasez a los que se enfrentan numerosas zonas del planeta, como es el caso de España.

La calidad del recurso también se ve amenazada por la contaminación proveniente de la descarga de aguas residuales domésticas e industriales, del empleo de productos químicos en la agricultura, del vertido incontrolado de residuos sólidos y de la emisión de contaminantes a la atmósfera que posteriormente se precipitan al suelo por el efecto de la lluvia [World Water Assessment Programme (2009)].

Así, pese a que se trata de un recurso renovable, cada vez resulta más difícil atender todas las necesidades de agua en la cantidad y calidad adecuadas, al tiempo que se preservan los ecosistemas acuáticos. Por todo ello, el agua es fuente de conflictos, cada vez más frecuentes, en torno a su reparto entre tipos de usuarios y entre regiones.

La brecha entre la oferta y la demanda se ha tratado de salvar tradicionalmente por la vía de la oferta, mediante la construcción de infraestructuras de captación, tratamiento, almacenamiento y transporte de agua. No es hasta los años 70 del siglo pasado cuando surge un nuevo paradigma que pone de manifiesto la importancia de las cuestiones medioambientales, económicas y sociales del agua [Hoque (2014)]. Así, aunque algunos países continúan tratando el agua como un recurso ilimitado, suministrándolo a los usuarios a un coste reducido o incluso nulo y obviando que se trata de un recurso económico escaso, la mayoría de los países han entendido que se trata de un bien escaso y valioso [Winpenny (1994)].

Este cambio en la percepción del agua ha ido otorgando un papel cada vez más relevante a las estrategias de gestión de la demanda, entre las que se encuentran, por ejemplo, los planes de contingencia ante riesgo de sequías, la educación a los usuarios sobre la conservación del recurso o las políticas de precios del agua [Griffin (2006)]. Esta última es la vía de acción que se ha consolidado en las últimas décadas como la principal herramienta de gestión de la demanda, inspirada en los principios de “quien usa paga” y “quien contamina paga”. Así, la Directiva Marco del Agua [European Community (2000)] aboga de modo preferente por el uso de los precios como instrumento económico para tratar de compatibilizar la satisfacción de las distintas necesidades humanas (consuntivas, productivas y recreativas) y la conservación del medio ambiente.

Sin embargo, la eficacia de los precios como instrumento de gestión de la demanda de agua es una cuestión sometida a discusión. Por este motivo resulta de interés analizar en qué medida la política de precios del agua puede contribuir a reducir la presión sobre la dotación del recurso, así como a mejorar la eficiencia de la asignación del agua entre sus usos alternativos, o ser un mero instrumento de financiación de los servicios de suministro y tratamiento del agua.

En este sentido, la literatura económica ha prestado una considerable atención al estudio del agua para usos domésticos y agrícolas, dejando más de lado el análisis del agua para otras actividades productivas. Sin embargo, el agua empleada en la industria y los servicios representa un volumen relevante y tiene especiales requerimientos de calidad y seguridad. Además, se trata de un recurso estratégico que, normalmente, es muy difícil de sustituir por otros factores en los procesos productivos.

Entre los estudios que se han ocupado de los usos productivos no agrarios, se ha prestado una atención muy superior al sector industrial frente al sector servicios, y pocos estudios han tratado de comprobar si existen diferencias significativas entre ambos sectores. Además, el objeto de estudio ha sido habitualmente el agua de red (agua suministrada a través de una red pública de abastecimiento), siendo especialmente reducida la atención prestada al autosuministro (agua obtenida directamente con las instalaciones y equipos del propio establecimiento).

El objetivo de esta tesis doctoral es analizar los determinantes de la demanda de agua para actividades productivas no agrarias (que engloban la industria, la construcción y los servicios), atendiendo de modo especial al papel de los precios. Los resultados de un estudio de esta naturaleza tienen interés práctico directo, tanto para las empresas como para los gestores públicos, aunque especialmente para estos últimos. Al respecto, les permite prever mejor la evolución de la demanda de agua, lo que facilita la toma de decisiones de inversión en infraestructuras de suministro y de tratamiento de aguas residuales, y les aporta información para evaluar y mejorar las políticas de gestión de la demanda.

Con esta investigación pretendemos contribuir a mejorar el conocimiento científico relativo al uso de este recurso natural estratégico, así como al desarrollo de la metodología utilizada en el análisis de la demanda de agua, en especial en aquellos aspectos que han sido objeto de mayor debate en la literatura.

La investigación empírica realizada atiende a varios casos de estudio y a varias dimensiones del objeto de estudio. Así, llevamos a cabo la estimación de la demanda de agua desde una perspectiva nacional y local. Por una parte, analizamos el conjunto de la industria española, en contraste con los trabajos realizados hasta la fecha en España que son de carácter exclusivamente local y con escaso detalle por ramas de actividad [García-Valiñas (2005), Arbués *et al.* (2010a), Vallés y Zárata (2013), Angulo *et al.* (2014)]. Por otra parte, presentamos dos aplicaciones de carácter local para el caso del municipio de Zaragoza en las que hemos podido disponer de microdatos sobre un elevado número de empresas. Ese volumen de información nos ha permitido analizar el conjunto de las

actividades productivas que se desarrollan en el entorno urbano de esta ciudad (industria, construcción y servicios); por el contrario, la mayor parte de la literatura de aplicación sobre el tema ha utilizado microdatos pero relativos a un reducido número de empresas o bien datos muy agregados por ramas de actividad y/o regiones.

Otro aspecto que nos ha preocupado especialmente es la heterogeneidad sectorial y geográfica en el uso del agua, en tanto que ningún estudio, que conozcamos, ha estimado hasta la fecha la demanda de agua industrial para diferentes regiones y pocos lo han hecho para diferentes ramas de actividad. En concreto, nos preguntamos cómo las características productivas específicas de cada sector y de cada rama de actividad condicionan las necesidades de agua y tratamos de evaluar el impacto que tienen las características (especialmente las climáticas) de cada región sobre el uso de agua en actividades productivas no agrarias.

Finalmente, consideramos tanto el agua de red como el agua autosuministrada, que, en nuestro caso, es la proveniente de la captación de agua subterránea. Este estudio nos ha permitido conocer mejor el papel de esta última fuente de abastecimiento, que ha sido muy poco analizada hasta la fecha, y estudiar en profundidad cada tipo de agua (agua superficial y agua subterránea) y sus posibles interrelaciones. Tras esta introducción, el documento de tesis doctoral se estructura en cuatro capítulos que han sido concebidos para poder ser leídos de forma independiente, empleando para ello un formato de artículo. El desglose de capítulos es el siguiente:

- Capítulo 1: Revisión de la literatura.
- Capítulo 2: La demanda de agua para actividades productivas. Una aplicación a la industria española con datos agregados.
- Capítulo 3: La demanda de agua urbana para actividades productivas. Una aplicación al municipio de Zaragoza con microdatos.
- Capítulo 4: Los determinantes del autosuministro de agua para actividades productivas en un entorno urbano. El caso del municipio de Zaragoza.

En el Capítulo 1 realizamos una revisión de la literatura específica que se ha ocupado de la estimación de la demanda de agua en la industria y los servicios. Atendemos tanto a la metodología empleada para identificar los factores determinantes de la demanda como a los resultados obtenidos. Esta revisión constituye un primer paso necesario para llevar a cabo las aplicaciones empíricas que forman el grueso de la tesis doctoral, ya que nos ha permitido concretar qué se ha hecho y qué resultados se han obtenido hasta el momento, poner el foco sobre aquellos aspectos que han sido poco estudiados y conocer en profundidad la metodología empleada en este campo de estudio y sus principales retos. Además, esta revisión puede ser de utilidad para otros investigadores en la elaboración de subsecuentes estudios empíricos así como para los gestores públicos en el diseño de políticas de gestión del recurso.

En el Capítulo 2 presentamos una primera aplicación en la que estimamos la demanda de agua de red para el conjunto de la industria española, empleando para ello datos agregados por ramas de actividad y comunidades autónomas. El objetivo es analizar el papel de las políticas de precios en la gestión de la demanda de agua, así como determinar cómo influyen los otros factores productivos que consideramos en el estudio (capital, trabajo, energía y suministros) y el nivel de producción. En el desarrollo del trabajo prestamos una especial atención a las diferencias en el uso del agua entre regiones y entre ramas de actividad. A partir de la estimación conjunta de la función de costes *translog* y las funciones de participación en costes de los *inputs*, mediante un enfoque SURE, obtenemos la elasticidad precio directa de cada *input*, las elasticidades cruzadas y la elasticidad de la demanda de agua con respecto al *output*.

En el Capítulo 3 presentamos una nueva aplicación en la que estimamos la demanda de agua de red para el conjunto de las actividades productivas no agrarias, utilizando un panel de microdatos compuesto por aproximadamente 9.000 empresas ubicadas en el municipio de Zaragoza. Para ello, aplicando la misma metodología que hemos seguido en el Capítulo 2, calculamos las distintas elasticidades con el fin de conocer el impacto que tiene sobre la demanda de agua el precio de los distintos *inputs* y el nivel de producción. Además, abordamos empíricamente dos cuestiones clave para esta literatura: el debate en torno a la especificación del precio del agua y el análisis de las diferencias en el uso del agua entre los distintos sectores y ramas de actividad.

El Capítulo 4 tiene por objetivo analizar en profundidad el papel que juega el autosuministro de agua en las actividades productivas no agrarias. En concreto, nos proponemos identificar los factores de los que depende tanto la elección de las fuentes de abastecimiento (red pública o autosuministro), como el volumen de agua autosuministrada captada por las empresas. Para abordar esta cuestión, llevamos a cabo una aplicación con microdatos para el conjunto de las actividades productivas en el municipio de Zaragoza, utilizando el modelo de doble valla de Heckman (1979). El estudio se centra específicamente en el autosuministro proveniente de la captación de agua subterránea.

La tesis concluye con una breve sección de conclusiones en la que resumimos los principales resultados, aportaciones y conclusiones operativas que se han obtenido.

Capítulo 1

Revisión de la literatura

Resumen

Este capítulo ofrece un panorama sintético y sistemático sobre la investigación económica dirigida a la estimación de la demanda de agua para usos productivos no agrarios, atendiendo tanto a la metodología seguida como a los resultados. Los trabajos revisados se caracterizan por una fuerte heterogeneidad, tanto en el tipo de datos (las limitaciones en la información disponible son el principal condicionante) como en la metodología empleada, lo que se traduce en una gran variabilidad en los resultados. Estos resultados muestran que los principales factores que determinan la demanda de agua son el precio del agua, el volumen de producción, el precio de los demás *inputs*, el sector y la rama de actividad de las empresas y la tecnología. En particular, hay evidencia de que la demanda de agua es suficientemente elástica para que los precios puedan ser empleados eficazmente para promover la conservación del recurso agua. En todo caso, entendemos que esta cuestión no puede darse por cerrada, puesto que de la revisión se desprende la necesidad de nueva evidencia empírica, basada en datos actualizados y en una metodología más avanzada.

1.1 Introducción

El agua es esencial para la vida humana, el desarrollo económico y la conservación de los ecosistemas naturales. El aumento de la población, de la urbanización y de las actividades productivas exige unos volúmenes de agua cada vez mayores, incrementando la presión sobre el recurso y agravando los problemas de escasez a los que se enfrentan muchas zonas del planeta. Asimismo, la calidad del recurso también se ve amenazada por la contaminación proveniente de la descarga de aguas residuales al medio.

En este contexto, el principal reto es compatibilizar las necesidades humanas (consuntivas, productivas y recreativas) de agua con la conservación del medio ambiente. Así, la Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/EC, 23 Octubre 2000) [European Community (2000)] establece como objetivo de la Unión Europea alcanzar un buen estado ecológico de las masas de agua, que permita asegurar al mismo tiempo un adecuado suministro y la protección de los ecosistemas naturales y la biodiversidad. Para ello, es necesario incentivar a los usuarios para que hagan un uso más eficiente del recurso, así como asegurar una adecuada asignación entre destinos alternativos ya que, inevitablemente, los distintos usos del agua entran en competencia unos con otros.

La mayor parte del agua que se utiliza en el mundo se destina a la agricultura [el 70,20 % del uso del agua a nivel mundial en 2014, según World Bank (2015)], pero el abastecimiento doméstico y de las actividades industriales y de servicios tiene necesidades crecientes, con especiales requerimientos de calidad y seguridad, y un gran potencial contaminante de sus vertidos. Además, estas necesidades se concentran en los entornos urbanos, donde se localiza gran parte de la población y de las actividades productivas.

Pueden distinguirse tres tipos de agua desde la perspectiva de los usuarios finales. En primer lugar, el agua de red, que es el agua suministrada a los usuarios a través de

una red pública de abastecimiento; por regla general se trata de agua potabilizada para consumo humano. En segundo lugar, el agua autosuministrada, que es el agua obtenida directamente por los usuarios mediante instalaciones y equipos propios. Su origen puede ser diverso: aguas superficiales continentales, aguas subterráneas, agua de mar u otro tipo de recursos hídricos (como las aguas pluviales, por ejemplo). Finalmente, el agua reutilizada, que es el agua empleada más de una vez por un mismo usuario, tras someterla al tratamiento necesario para que tenga la calidad requerida para hacer posible la reutilización. Los usuarios domésticos normalmente sólo emplean agua proveniente de las redes de suministro público, en tanto que es más frecuente que los usuarios de la industria y los servicios empleen un *mix* de agua de los tres tipos, según sus necesidades de calidad y cantidad.

Las empresas necesitan el agua para tareas de limpieza, aseo, refrigeración o para su incorporación al producto final y, normalmente, resulta muy difícil sustituirla por otros factores. Esto hace del agua un recurso estratégico para las actividades productivas. Sin embargo, la atención prestada por la literatura económica al uso del agua en la industria y los servicios ha sido muy escasa en comparación con la otorgada a los usos domésticos o agrícolas.

Las líneas de investigación económica sobre el uso de agua para usos productivos no agrarios son diversas. Entre ellas cabe citar el cálculo del precio sombra [Wang y Lall (2002), Renzetti y Dupont (2003), He *et al.* (2007), Liu *et al.* (2009) y Ku y Yoo (2012), entre otros], la fijación de precios óptimos para el agua de red [véase, por ejemplo, Renzetti (1992b) y García-Valiñas (2005)], el impacto sobre el consumo de la introducción de medidas ahorradoras de agua [por ejemplo, Meade y González-Morel (1999) y Barberán *et al.* (2013)], los patrones de uso del agua en sectores determinados, como la hostelería y el sector turístico [véase Gopalakrishnan y Cox (2003) y Charara *et al.* (2011), entre otros] y la estimación de la demanda de agua, con la finalidad de cuantificar el impacto del precio sobre la cantidad demandada y conocer qué otras variables económicas, y de qué modo, condicionan esa demanda.

Este capítulo se ocupa específicamente de la revisión de la literatura encuadrada en esta última línea de investigación, atendiendo tanto a la metodología utilizada como a los resultados obtenidos. Nuestro objetivo es ofrecer un panorama sintético y sistemático, combinando información y análisis, que pueda resultar útil a los investigadores que deseen abordar nuevos trabajos empíricos y a los decisores públicos implicados en el diseño de políticas de gestión del recurso. No podemos decir que sea la primera revisión en profundidad realizada en este campo [antes lo han hecho Renzetti (2002), Gispert (2004) y Worthington (2010)], pero sí que aspira a ser una revisión actualizada, detallada y exhaustiva.

Nuestra revisión nos ha permitido localizar treinta y nueve trabajos que estiman la demanda de agua para usos productivos no agrarios. Se trata de un número reducido si se compara con el número de trabajos publicados en el ámbito de la demanda de agua para usos domésticos que se recogen, por ejemplo, en las revisiones de Arbués *et al.* (2003) y Worthington y Hoffman (2008), entre otras.

En lo que sigue, este capítulo se va a estructurar del siguiente modo. En la Sección 1.2 se describen las principales características de los datos empleados por esos trabajos. La Sección 1.3 presenta las variables explicativas que han sido incluidas en la estimación de la demanda, dedicando una especial atención a cómo han sido especificadas. En la Sección 1.4 se describen y discuten las distintas funciones, formas funcionales y técnicas de estimación empleadas. En la Sección 1.5 se muestran y analizan los resultados obtenidos por la literatura y, finalmente, en la Sección 1.6 se exponen las principales conclusiones.

1.2 Características de los datos

La mayoría de los trabajos revisados analizan la demanda de agua en los casos de Estados Unidos o Canadá (véase Tabla 1.1, columna 2). Un buen número de trabajos se han llevado a cabo en países en vías de desarrollo, como China, Brasil o México, entre otros. Finalmente, unos pocos analizan la demanda en países europeos, incluyendo únicamente los casos de España, Francia, Holanda y Reino Unido.

Los primeros trabajos aparecen en la década de los 70 del siglo pasado, aunque es en las décadas de los 80 y 90 cuando esta literatura se desarrolla y asienta una metodología específica (véase Tabla 1.1, columna 3). Posteriormente, a partir de los 2000, se publican un buen número de trabajos que amplían las cuestiones objeto de estudio y perfeccionan la metodología de estimación de la demanda.

La mayor parte de la literatura basa su análisis en microdatos relativos a un pequeño número de empresas, aunque también son numerosos los trabajos que utilizan datos agregados por ramas de actividad y/o regiones (véase Tabla 1.1, columna 4). La mayoría de los trabajos cuentan con información sobre unas decenas o unas pocas centenas de empresas (véase Tabla 1.1, columna 5) y son escasos los estudios que disponen de información de una amplia muestra de empresas o establecimientos productivos [Renzetti (1992a, 1993), Wang y Lall (2002), Ku y Yoo (2012), entre otros].

Al respecto, debe señalarse que la dificultad en el acceso a la información sobre las magnitudes económicas y el uso de agua de las empresas es uno de los principales escollos a la hora de estimar la demanda de agua y explica, tanto el reducido número de trabajos en este campo de investigación, como el tipo de datos utilizados en estos trabajos. La razón de esta dificultad está en las restricciones que afectan al acceso a los microdatos de las encuestas oficiales y los registros administrativos debido a la normativa del secreto estadístico. La alternativa es operar con datos agregados o que los investigadores generen, por si solos, bases de datos propias con la dimensión requerida, pero esto último no suele ser factible.

Por otra parte, predomina claramente la información de corte transversal o de datos de panel (véase Tabla 1.1, columna 4). Únicamente Mitchell *et al.* (2000), Linz y Tsegai (2009) y Gómez-Ugalde *et al.* (2012) utilizan datos de serie temporal. Los datos de panel son más adecuados para estimar la demanda de agua, por captar al mismo tiempo la dinámica temporal y la heterogeneidad individual de la muestra. Sin embargo, de nuevo,

la falta de información limita su uso, ya que la mayor parte de los trabajos que emplean microdatos sólo disponen de información para uno o unos pocos años. Finalmente, estos datos suelen referirse a registros anuales (véase Tabla 1.1, columna 6), por la dificultad de disponer de datos de menor frecuencia [algunas excepciones son Moeltner y Stoddard (2004), Arbués *et al.* (2010a) o Gómez-Ugalde *et al.* (2012)].

Respecto a los sectores de actividad, la mayoría de los trabajos se han centrado en analizar la demanda de agua en la industria, de modo agregado o detallado por ramas, según los casos (véase Tabla 1.1, columna 7). Pocos se han ocupado de analizar el sector servicios o de comprobar si existen diferencias significativas con las actividades manufactureras [entre otros, Williams y Suh (1986), Schneider y Whitlatch (1991) o Reynaud (2003)]. Un número reducido de trabajos se ha centrado en ramas de actividad concretas en las que es singularmente importante el input agua, como es el caso de De Rooy (1974), Stone y Whittington (1984), Ziegler y Bell (1984), Dupont y Renzetti (1998), Linz y Tsegai (2009), Angulo *et al.* (2014) y Deyà-Tortella *et al.* (2016).

El objeto de estudio ha sido, habitualmente, el agua captada de las redes de suministro público (agua de red) o el agua total empleada por las empresas (agua captada total) sin distinguir su procedencia (véase Tabla 1.1, columna 8). Normalmente, los datos sobre el volumen de agua de red son suministrados por el proveedor del servicio de abastecimiento de agua, mientras que la información sobre el volumen de agua captada total (que incluye agua red y/o autosuministrada) es proporcionada por las empresas a través de encuestas, bien directamente al equipo investigador o bien, más habitualmente, a los organismos públicos que elaboran estadísticas sobre la materia.

Sólo unos pocos trabajos se han ocupado específicamente del agua autosuministrada [Renzetti (1993), Reynaud (2003)] o del agua reutilizada [Renzetti (1988, 1992a), Dupont y Renzetti (1998, 2001), Bruneau *et al.* (2010), Féres *et al.* (2012), Bruneau y Renzetti (2014)] (véase Tabla 1.1, columna 8). La escasez de trabajos referidos a estas dos fuentes de suministro, en comparación con los referidos al agua de red, se debe en buena parte a las mayores dificultades para su control público y, consiguientemente, a la menor disponibilidad de información. Sin embargo, el estudio del autosuministro y la reutilización resulta esencial para llevar a cabo una política de gestión global del recurso en la que se tengan en cuenta las posibles interacciones entre fuentes de suministro.

Además, algunos trabajos se han ocupado, junto al suministro de agua, del vertido de aguas residuales y su potencial efecto contaminante, que es especialmente elevado en el caso de las actividades productivas. Algunos autores tratan las aguas residuales vertidas como un subproducto del proceso productivo [Reynaud (2003), Féres y Reynaud (2005)], con el objetivo de evaluar el efecto de la política de precios de los vertidos (tarifas de saneamiento) sobre el volumen de agua vertida. En otros casos se ha optado por una vía diferente, interpretando el flujo de agua vertida como un input más necesario en el proceso productivo, con un coste asociado como es el gasto necesario para depurar esa agua y cumplir con la normativa vigente [Renzetti (1988, 1992a), Dupont y Renzetti (1998)].

Tabla 1.1: Características de los datos

Referencia	Ámbito geográfico	Años	Tipo de datos	Muestra	Periodicidad	Ámbito sectorial	Objeto de estudio
Angulo <i>et al.</i> (2014)	España	1995-2006	Microdatos/Panel	676 empresas	Anual	Hoteles, bares y restaurantes	Agua de red
Arbués <i>et al.</i> (2010a)	España	1996-2000	Microdatos/Panel	298 empresas	Trimestral	Industria y servicios	Agua de red
Babin <i>et al.</i> (1982)	EEUU	1973	Microdatos/Corte transversal	245 empresas	Anual	7 ramas industriales	Agua de red
Bell y Griffin (2008)	EEUU	1995-2005	Agregados/Panel	210 municipios	Mensual	Industria y servicios	Agua de red
Bruneau y Renzetti (2014)	Canadá	1986, 1991, 1996	Microdatos/Panel	2.725 empresas	Anual	Sector industrial	Agua reutilizada
Camizales y Bravo (2011)	México	2003, 2008	Agregados/Corte transversal	9 Estados	Anual	Sector industrial	Agua de red
Dachraoui y Harchaoui (2004)	Canadá	1981, 1986, 1991, 1996	Agregados/Panel	36 ramas de actividad	Anual	Sector industrial	Agua captada total
Deyà-Tortella <i>et al.</i> (2016)	España	2007	Microdatos/Corte transversal	134 establecimientos	Anual	Hoteles	Agua de red
De Rooy (1974)	EEUU	1965	Microdatos/Corte transversal	30 empresas	Anual	Industria química	Agua captada total
Dupont y Renzetti (1998)	Canadá	1991	Microdatos/Corte transversal	88 empresas	Anual	Industria alimentaria	Agua captada total, Agua reutilizada, Vertidos
Dupont y Renzetti (2001)	Canadá	1981, 1986, 1991	Agregados/Panel	58 observaciones agregadas por sectores industriales y provincias	Anual	Sector industrial	Agua de red, Agua reutilizada
Féres <i>et al.</i> (2012)	Brasil	2002	Microdatos/Corte transversal	447 establecimientos	Anual	Sector industrial	Agua reutilizada
Féres y Reynaud (2005)	Brasil	1999	Microdatos/Corte transversal	404 establecimientos	Anual	Sector industrial	Agua captada total, Vertidos
García-Valiñas (2005)	España	1994-2000	Microdatos/Panel	80 establecimientos	Trimestral	Industria y servicios	Agua de red
Gómez-Ugalde <i>et al.</i> (2012)	México	2000-2009	Agregados/Serie temporal	60 observaciones	Bimestral	Sector servicios	Agua de red
Grebenstein y Field (1979)	EEUU	1973	Agregados/Corte transversal	Todas las ramas manufactureras a 2 dígitos	Anual	Sector industrial	Agua de red
Guerrero (2005)	México	1994	Microdatos/Corte transversal	500 empresas	Anual	8 ramas industriales	Agua captada total
Ku y Yoo (2012)	Corea	2003	Microdatos/Corte transversal	53.912 empresa	Anual	11 ramas industriales	Agua captada total
Kumar (2006)	India	1996-1999	Microdatos/Panel	92 empresas	Anual	9 ramas industriales	Agua captada total
Linz y Tsegai (2009)	Sudáfrica	2004-2009	Microdatos/Serie temporal	5 minas	Mensual	Minería	Agua captada total
Lynne (1977)	EEUU	1975	Microdatos/Corte transversal	156 establecimientos	Anual	Grandes almacenes, tiendas de alimentación, bares y restaurantes y hoteles	Agua de red
Lynne <i>et al.</i> (1978)	EEUU	1976	Microdatos/Corte transversal	137-190 establecimientos	Mensual	Grandes almacenes, tiendas de alimentación, bares y restaurantes, hoteles y otros comercios	Agua de red
Malla y Gopalakrishnan (1999)	EEUU	n.e.	Microdatos/Panel	13 empresas	Mensual	Energía, alimentación, construcción y centros comerciales	Agua captada total
Mitchell <i>et al.</i> (2000)	UK	1974-1995	Agregados/Serie temporal	Sector no doméstico en su conjunto	Anual	Sector no doméstico	Agua de red
Moeltner y Stoddard (2004)	EEUU	1993-2000	Microdatos/Panel	348 empresas	Mensual	6 ramas de servicios	Agua de red
Nahman y De Lange (2012)	Sudáfrica	2011	Microdatos/Corte transversal	58 empresas	Anual	12 ramas industriales	Agua captada total
Onjala (2001)	Kenia	1990-2000	Microdatos/Panel	51 establecimientos	Mensual	7 ramas industriales	Agua captada total
Renzetti (1988)	Canadá	1981	Microdatos/Corte transversal	372 empresas	Anual	4 agregados industriales	Agua captada total, Agua reutilizada, Vertidos
Renzetti (1992a)	Canadá	1985	Microdatos/Corte transversal	2.000 establecimientos	Anual	7 ramas industriales	Agua captada total, Agua reutilizada, Vertidos
Renzetti (1993)	Canadá	1985	Microdatos/Corte transversal	2.000 establecimientos	Anual	6 ramas industriales	Agua de red, Agua autosuministrada
Reynaud (2003)	Francia	1994-1996	Microdatos/Panel	51 establecimientos	Anual	8 ramas industriales y de servicios	Agua de red, Agua autosuministrada, Vertidos
Schneider y Whitlatch (1991)	EEUU	1959-1977	Microdatos/Panel	6 empresas	Anual	Industria y servicios	Agua de red
Stone y Whittington (1984)	Holanda	1974	Microdatos/Corte transversal	21 empresas	Anual	Industria papelera	Agua captada total
Turnovsky (1969)	EEUU	1962, 1965	Agregados/Corte transversal	19 municipios	Anual	Sector industrial	Agua de red
Vallés y Zárata (2013)	España	2002-2003	Microdatos/Panel	87 empresas	Anual	Industria y servicios	Agua de red
Wang y Lall (2002)	China	1993	Microdatos/Corte transversal	2.000 establecimientos	Anual	16 ramas industriales	Agua captada total
Williams y Suh (1986)	EEUU	1976	Agregados/Corte transversal	n.e.	Anual	Industria y servicios	Agua de red
Ziegler y Bell (1984)	EEUU	n.e.	Microdatos/Corte transversal	23 empresas	Anual	Industrias química y papelera	Agua captada total
Zhou y Tol (2005)	China	1997-2003	Agregados/Panel	31 provincias	Anual	Sector industrial	Agua captada total

Nota: n.e.: no especificado.

1.3 Variables explicativas

1.3.1 Precio del agua

La teoría económica establece que, en condiciones normales, el principal factor determinante de la demanda de un bien es su propio precio. A diferencia de la gran mayoría de bienes, la especificación del precio del agua no resulta, en absoluto, obvia. Para avanzar en ella, en el caso del agua de red, es preciso conocer la estructura tarifaria asociada al servicio de abastecimiento y saneamiento de agua.

En la práctica, existen multitud de estructuras tarifarias [véase Pezzey y Mill (1998), OECD (1999) y OECD (2010)] que vamos a tratar de sistematizar a continuación. La primera distinción que cabe hacer es entre tarifas planas, en las cuales la cuota a pagar es independiente del nivel de consumo, y tarifas volumétricas. En este último caso, la cuota a pagar puede basarse en distintos esquemas:

- Una tarifa uniforme, donde se aplica el mismo precio a todas las unidades de consumo.
- Una tarifa de precios medios, donde la cuota variable se obtiene multiplicando la cantidad consumida de agua por un precio que varía (de modo creciente o decreciente) en función del nivel de consumo, aplicándose a todas las unidades de consumo el mismo precio.
- Una tarifa por bloques, donde la cuota variable se obtiene aplicando diferentes precios a diferentes bloques de consumo. Esta tarifa puede ser por bloques crecientes (a cada unidad de consumo adicional se le aplica un precio mayor) o decrecientes (se le aplica un precio menor). Los elementos clave de la tarifa por bloques son el número de bloques, la cantidad de agua incluida en cada bloque y el precio al que se gravan las unidades de consumo de cada bloque [Boland y Whittington (2001)].

Además, es muy frecuente la existencia de tarifas en dos partes, que incluyen una cuota fija (la cual da acceso al servicio y, en ocasiones, a un determinado volumen de consumo exento de pago) y una cuota variable (que depende del volumen de agua consumida y de la tarifa volumétrica vigente en cada caso).

También es habitual la existencia de dos tarifas asociadas al servicio, una de abastecimiento y otra de saneamiento. La primera está destinada a financiar el suministro y la segunda a financiar la recogida y tratamiento de las aguas residuales. La mayoría de los países de la OCDE aplican la misma estructura tarifaria en saneamiento que en abastecimiento [OECD (2010)].

La estructura de las tarifas hace que la especificación del precio del agua se convierta en un punto complejo y controvertido que tiene implicaciones de importancia a la hora de abordar la estimación de la función de demanda. Por ello, este asunto ha sido objeto de un intenso debate metodológico, similar al originado en el campo de la electricidad

[Taylor (1975), Nordin (1976), Shin (1985)] y el gas natural [Polzin (1984)]. En nuestro caso, el problema de la especificación del precio se planteó inicialmente para el precio del agua utilizada por los hogares [Gibbs (1978), Billings y Agthe (1980), Foster y Beattie (1981), Opaluch (1982), Jones y Morris (1984), Chicoine *et al.* (1986), Billings (1987), Nieswiadomy y Molina (1991), Barkatullah (1996)] y después se trasladó también al precio del agua para usos industriales [Ziegler y Bell (1984), Williams y Suh (1986)].

Cuando los usuarios se enfrentan a tarifas uniformes sin cuota fija no existe diferencia entre el precio medio y el marginal. Sin embargo, cuando los usuarios se enfrentan a tarifas no uniformes (que incluyen una cuota fija o introducen un sistema tarifario por bloques o con precios medios variables) esta igualdad se rompe. En este caso, la utilización del precio marginal resulta más adecuada desde la perspectiva teórica, ya que este precio informa del coste de utilizar una unidad adicional de agua. Desafortunadamente, en la práctica, la complejidad de las tarifas y la dificultad de comprensión de las facturas hacen muy difícil que los usuarios identifiquen y conozcan la cuantía del precio marginal. Así, el supuesto de información perfecta resulta seriamente cuestionable, por lo que, como indica Gispert (2004), es posible que los usuarios reaccionen al precio marginal, al precio medio o que perciban un precio situado entre ambos.

Algunos autores como Foster y Beattie (1981) y Shin (1985) han defendido que la situación de información imperfecta es la más probable, y Opaluch (1982) y Nieswiadomy y Molina (1991) puntualizan que los costes de información son mayores para los pequeños consumidores. En consecuencia, es de esperar que sean los usuarios con un mayor gasto en agua los que más reaccionen al precio marginal, ya que obtendrán un mayor beneficio si se esfuerzan en entender la estructura tarifaria e introducirla en sus decisiones.

Una línea de trabajo para dar respuesta al problema de la especificación consiste en utilizar simultáneamente varias variables de precio. Taylor (1975) sugiere, en el contexto de los precios de la electricidad, que el uso de una única variable de precio (ya sea el precio medio o el marginal) no es suficiente cuando nos enfrentamos a tarifas por bloques, por lo que propone incluir una variable de precio adicional que refleje el efecto renta asociado a los saltos de precio en este tipo de tarifas.

Nordin (1976) desarrolla este enfoque introduciendo la denominada “variable diferencia”, definida como la diferencia entre el total de la factura que paga el consumidor y la que habría pagado si toda el agua consumida se hubiese facturado al precio marginal. El argumento de Nordin es que los usuarios no sólo reaccionan al precio marginal, sino también a los cambios en el excedente del consumidor que se producen al pasar de un bloque de la tarifa a otro. Esto supone la existencia de un agente racional perfectamente informado dispuesto a asumir los costes de información necesarios para asimilar la estructura tarifaria, lo cual es difícilmente sostenible [Nieswiadomy y Molina (1991)]. Pese a ello, esta especificación ha sido empleada por numerosos trabajos en el ámbito doméstico [Billings y Agthe (1980), Billings (1982), Agthe *et al.* (1986), Billings (1987), Nieswiadomy y Molina (1989), Hewitt y Hanemann (1995), Barkatullah (1996), Martínez-Espiñeira (2003) y Arbués *et al.* (2004), entre otros]. En el caso de las actividades productivas no ha sido empleada [la excepción es Deyà-Tortella *et al.* (2016)], probablemente por las dificultades

que plantea la introducción de dos variables de precio para un mismo *input* en la función de producción.

Shin (1985) hace otra propuesta que va en sentido contrario, para el caso de la electricidad, reconociendo explícitamente las dificultades del usuario para captar correctamente la señal de los precios. En concreto, propone utilizar el denominado precio percibido que es una función del precio medio, del marginal y de un parámetro de percepción del precio que debe estimarse. Este planteamiento ha sido muy popular en el ámbito de la electricidad [véase, por ejemplo, Borenstein (2009) y Ito (2014)], pero sólo Arbués *et al.* (2010a) y Wichman (2014) lo utilizan para estimar la demanda de agua industrial y doméstica, respectivamente. La estimación del precio percibido se puede resolver de forma relativamente estándar, en términos econométricos, cuando modelizamos una función de demanda simple, pero se complica mucho cuando modelizamos una función de producción debido a las no linealidades y a las interacciones entre parámetros que se generan (especialmente, en el caso de la función de producción *translog*).

La disparidad de criterios sobre la especificación del precio del agua hace que, como puede verse en la columna 2 de la Tabla 1.2, los trabajos referidos a las actividades productivas empleen tanto el precio medio como el precio marginal. La elección de una u otra especificación se hace depender, frecuentemente, del supuesto de información perfecta, aunque, en la práctica, el tipo de datos disponibles parece determinante (es menos frecuente disponer de información sobre el precio marginal).

En definitiva, la cuestión de qué indicador de precio es más adecuado como variable de control de la demanda de agua, ya sea para el caso de la industria o de los hogares, permanece abierta. Debe recalcar que no es una cuestión menor, ni mucho menos, como demuestran Ziegler y Bell (1984), Williams y Suh (1986) y Vallés y Zárata (2013) al constatar que la elección de un precio u otro condiciona severamente los resultados del análisis empírico.

En este sentido, y a falta de argumentos teóricos de mayor peso, el enfoque que se ha consolidado en la literatura de aplicación y que nos parece muy interesante consiste en plantear el problema de elección entre el precio medio y el marginal como un problema de selección de modelos. En general, en términos econométricos, se trata de un problema de comparación entre modelos no anidados que se puede resolver utilizando técnicas como el test J o los criterios de información, como el C_p de Mallows (1973) o el AIC de Akaike (1974). Los resultados obtenidos con esta línea de análisis muestran que en unos casos los usuarios responden al precio medio [Foster y Beattie (1981), Ziegler y Bell (1984), Jones y Morris (1984), Nieswiadomy (1992), Nieswiadomy y Cobb (1993), Kulshreshtha (1996), Arbués *et al.* (2004), Wichman (2014)] y en otros al marginal [Gibbs (1978), Williams y Suh (1986), Nieswiadomy y Molina (1991), Barkatullah (1996), Baerenklau *et al.* (2014)]; incluso puede acabar concluyéndose, como Polzin (1984), que no existen diferencias significativas entre ambas especificaciones. Es decir, nuevamente predomina la disparidad de resultados.

Tabla 1.2: Especificación de las variables (I)

Referencia	Precio del agua	Output	Rama de actividad	Cambio tecnológico
Angulo <i>et al.</i> (2014)	PM	Ingresos de explotación	Estimación por ramas	Tendencia temporal
Arbués <i>et al.</i> (2010a)	Precio percibido	Contribución al VAB regional	<i>Dummies</i>	-
Babin <i>et al.</i> (1982)	PM	n.e.	Estimación por ramas	-
Bell y Griffin (2008)	Media ponderada de varios precios	-	-	-
Bruneau y Renzetti (2014)	PMg	Número de empleados	<i>Dummies</i>	-
Canizales y Bravo (2011)	-	PIB regional	-	-
Dachraoui y Harchaoui (2004)	-	Producción bruta	<i>Dummies</i>	Tendencia temporal
Deyà-Tortella <i>et al.</i> (2016)	PMg, PM y precio diferencia	-	-	-
De Rooy (1974)	PM	n.e.	-	VA por empleado, salario de los trabajadores, número de empleados por unidad de producción, edad de la planta y tipo de productos
Dupont y Renzetti (1998)	PMg	Ingresos declarados	-	-
Dupont y Renzetti (2001)	PMg	Ingresos / IP de la producción	-	Tendencia temporal
Féres <i>et al.</i> (2012)	PM	Valor de la producción	<i>Dummies</i>	-
Féres y Reynaud (2005)	PM	Valor de la producción / IP sectorial	<i>Dummies</i>	-
García-Valiñas (2005)	PM	Categoría fiscal de la calle	<i>Dummies</i>	-
Gómez-Ugalde <i>et al.</i> (2012)	PM	Salario mínimo profesional	-	-
Grebenstein y Field (1979)	PM	n.e.	-	-
Guerrero (2005)	PM	Cantidad de <i>output</i>	Estimación por ramas	-
Ku y Yoo (2012)	-	VA total	Estimación por ramas	-
Kumar (2006)	-	Ingreso por ventas	<i>Dummies</i>	<i>Dummy</i> temporal
Linz y Tsegai (2009)	PM	Cantidad de <i>output</i>	-	-
Lynne (1977)	PMg	-	Estimación por ramas	-
Lynne <i>et al.</i> (1978)	PMg	-	Estimación por ramas	-
Malla y Gopalakrishnan (1999)	PM de un volumen de consumo estándar	Número de empleados	<i>Dummies</i>	-
Mitchell <i>et al.</i> (2000)	PM	Número de empleados	-	-
Moeltner y Stoddard (2004)	PMg	-	Estimación por ramas	-
Nahman y De Lange (2012)	Precio sombra	n.e.	Estimación por ramas	-
Onjala (2001)	PMg	n.e.	Estimación por ramas	Tendencia temporal
Renzetti (1988)	PMg (agua captada) y PM (agua reutilizada)	Número horas trabajadas	Estimación por ramas	-
Renzetti (1992a)	PMg	Valor de la producción	Estimación por ramas	-
Renzetti (1993)	PMg	Valor de la producción	Estimación por ramas	-
Reynaud (2003)	PM	Valor de la producción	Estimación por ramas	-
Schneider y Whitlatch (1991)	PMg	Renta <i>per cápita</i> de la población	-	-
Stone y Whittington (1984)	PM	n.e.	-	Antigüedad de la tecnología, tipo de proceso productivo y tipo de producto
Turnovsky (1969)	PM	Índice de producción industrial del municipio	-	-
Vallés y Zárate (2013)	PM y PMg	Ingresos de explotación	<i>Dummies</i>	Nivel tecnológico y antigüedad de la empresa
Wang y Lall (2002)	Precio sombra	Valor de la producción	<i>Dummies</i>	-
Williams y Suh (1986)	PM, PMg y FTM según 3 volúmenes de consumo	VA (industria) e ingresos por ventas (servicios)	-	-
Ziegler y Bell (1984)	PM y PMg	-	<i>Dummies</i>	<i>Dummy</i> tecnología obsoleta-moderna y antigüedad de planta y maquinaria
Zhou y Tol (2005)	PM	VA regional	-	-

Nota: PM: precio medio, PMg: precio marginal, FTM: factura típica mensual, VA: valor añadido, IP: índice de precios, n.e.: no especificado. “*Dummies*” significa que se introduce una *dummy* por cada rama de actividad. “Estimación por ramas” significa que se estima la demanda de agua para cada rama de actividad.

1.3.2 Volumen de producción

El volumen de producción de las empresas es un factor que puede influir en la demanda de agua. Al respecto, cabe esperar que aquellas empresas con una mayor producción necesiten una mayor cantidad de agua. En general, la literatura ha tenido en cuenta esta variable en la estimación de la demanda de agua y, por tanto, ha calculado la elasticidad *output* para conocer la intensidad de su influencia. Entre los trabajos que no incluyen el volumen de producción en sus estimaciones encontramos los de Turnovsky (1969), Lynne (1977), Lynne *et al.* (1978), Grebenstein y Field (1979), Ziegler y Bell (1984), Moeltner y Stoddard (2004) o Bell y Griffin (2008), entre otros.

La mayoría de trabajos han medido el *output* a través del valor de la producción en unidades monetarias (véase Tabla 1.2, columna 3), aunque en algunos casos se ha especificado en cantidades, ya sea a partir de información directa [Linz y Tsegai (2009)] o dividiendo el valor de la producción entre el índice de precios correspondiente [Guerrero (2005)].

En otras ocasiones en las que el dato de producción no estaba disponible, los autores han tenido que recurrir a *proxies* como el número de empleados o las horas trabajadas [Renzetti (1988), Malla y Gopalakrishnan (1999), Mitchell *et al.* (2000), Bruneau *et al.* (2010), Bruneau y Renzetti (2014)], el salario mínimo o la renta *per cápita* [Stone y Whittington (1984), Gómez-Ugalde *et al.* (2012)], la contribución de la empresa al valor añadido bruto regional [Arbués *et al.* (2010a)], el producto interior bruto o el valor añadido [Williams y Suh (1986), Zhou y Tol (2005), Canizales y Bravo (2011), Ku y Yoo (2012)], o la categoría fiscal de la calle en la que se localiza la empresa [García-Valiñas (2005)].

1.3.3 Factores productivos distintos del agua

Los otros factores que intervienen en el proceso productivo (habitualmente, capital, trabajo, energía y suministros) también influyen en la demanda de agua, ya que cualquier variación en los precios o en las cantidades empleadas de esos factores producirá un cambio en el *mix* de *inputs* y, por tanto, en el uso de agua.

Grebenstein y Field (1979) y Babin *et al.* (1982) son los primeros en analizar la posible relación de sustituibilidad o complementariedad entre el agua y el resto de *inputs*. Con posterioridad, buena parte de la literatura se ha preocupado por esta relación [Dupont y Renzetti (2001), Dachraoui y Harchaoui (2004), Féres y Reynaud (2005), Guerrero (2005), Kumar (2006), Linz y Tsegai (2009), Arbués *et al.* (2010a), Féres *et al.* (2012), Gómez-Ugalde *et al.* (2012), Vallés y Zárata (2013), Angulo *et al.* (2014)].

La lista de factores a incluir y la forma de medirlos no es una cuestión exenta de dificultades, viéndose fuertemente condicionada por la información disponible y por la aproximación utilizada para modelizar la demanda de agua. En concreto, si se opta por la función de costes, será necesario disponer de información sobre los precios de los factores y sobre el gasto que cada uno de éstos representa para la empresa. Por el contrario, si la aproximación es a través de la función de producción, bastará con conocer la cantidad

empleada de cada factor. Otra opción seguida en ocasiones es recurrir a ecuaciones de demanda similares a las empleadas en el caso de consumo de agua por los hogares, con lo que basta con conocer el precio del agua y el volumen de producción [De Rooy (1974), Malla y Gopalakrishnan (1999), Moeltner y Stoddard (2004) o García-Valiñas (2005), entre otros]. Algunos de los autores que han seguido esta última opción han incorporado otros factores, distintos del agua, en esas funciones de demanda (tales como el trabajo, la energía, etc.); en algunos casos lo han hecho vía precios y en otros a través de las cantidades [Arbués *et al.* (2010a), Féres *et al.* (2012), Gómez-Ugalde *et al.* (2012), Vallés y Zárte (2013)].

La forma de medir el capital es la que genera más incertidumbre. Como se observa en la columna 2 de la Tabla 1.3, las vías que se han utilizado en la literatura para cuantificar el gasto en capital son diversas: el valor de los servicios de capital; el gasto pagado en intereses; la suma de gastos financieros, depreciación y otros gastos de capital; la suma del coste de la deuda y la remuneración de los fondos propios; y también la diferencia entre los gastos totales y el gasto en otros factores productivos. Para medir la cantidad de capital se ha empleado tanto la formación bruta de capital fijo, como el *stock* de capital o el valor de los activos a final del ejercicio.

De forma similar, el precio del capital se ha aproximado utilizando diferentes variantes (véase Tabla 1.3, columna 3). La más habitual consiste en recurrir directamente al tipo de interés de mercado. Otra alternativa es la de calcular el precio de cada unidad de servicio del capital a través del método de inventario permanente [Christensen y Jorgeson (1969)]; para ello, es necesario disponer de información sobre el valor actual de las deducciones por amortización, la tasa de rentabilidad de las empresas, el tipo impositivo efectivo, el índice de precios de los bienes duraderos y la tasa de amortización. Otra alternativa adicional es la propuesta por Gaudet *et al.* (1976), consistente en calcular el coste del capital equiparándolo al coste de uso (precio implícito de alquiler del capital), en función de la inversión en capital fijo, la tasa de descuento, la tasa de depreciación y el tipo impositivo efectivo aplicado a las empresas. Por último, cabe calcular el precio del capital como el coste medio ponderado del capital (deuda y fondos propios) siguiendo a Modigliani y Miller (1963), como hacen Angulo *et al.* (2014).

El factor trabajo es menos problemático porque su definición no está sujeta a controversia y porque suele haber más información. Así, el gasto en trabajo se suele medir a través del gasto de personal. La cantidad de trabajo se mide según el número de empleados. El precio se obtiene haciendo el cociente entre el gasto de personal y el número de empleados (véase Tabla 1.3, columnas 4 y 5).

La energía suele presentar más dificultades originadas por la disponibilidad de información, razón por la cual muchos trabajos no la incorporan como un factor singular en la estimación. Cuando sí se incorpora, el gasto en energía se suele medir recurriendo a la suma del gasto en productos energéticos (petróleo, gas, electricidad, carbón, etc.). En el caso del precio, es habitual utilizar una media ponderada de los precios de esos productos energéticos en el entorno en el que se localiza el estudio (véase Tabla 1.3, columnas 7 y 8).

Tabla 1.3: Especificación de las variables (II)

Referencia	Capital		Trabajo	
	Gasto o Cantidad	Precio	Gasto o Cantidad	Precio
Angulo <i>et al.</i> (2014)	Coste de la deuda + coste de los fondos propios	Coste del capital medio ponderado	Gasto de personal	Gasto de personal / número de empleados
Arbués <i>et al.</i> (2010a)	-	-	Número de empleados	-
Babin <i>et al.</i> (1982)	Valor de los servicios de capital	Precio de los servicios de capital	Gasto de personal	Gasto de personal / número de empleados
Camizales y Bravo (2011)	Formación bruta de capital fijo	-	Número de empleados	-
Dachraoui y Harchaoui (2004)	Valor de los servicios de capital	Precio implícito de alquiler del capital	Gasto de personal	Media ponderada del salario de los diferentes tipos de empleados
Dupont y Renzetti (2001)	Gastos totales - gasto en otros factores productivos	Precio implícito de alquiler del capital	Gasto de personal	Salario medio de los trabajadores manufactureros
Féres <i>et al.</i> (2012)	-	Tasa de interés real + tasa de depreciación	-	-
Féres y Reynaud (2005)	Gastos de depreciación + gastos financieros + otros gastos de capital	Tasa de interés real + tasa de depreciación	Gasto de personal	Gasto de personal / número de empleados
Gómez-Ugalde <i>et al.</i> (2012)	-	-	-	-
Grebenstein y Field (1979)	Valor de los servicios de capital	Precio de los servicios de capital	Gasto de personal	Gasto de personal / número de empleados
Guerrero (2005)	-	-	Gasto de personal	Gasto de personal / número de empleados
Ku y Yoo (2012)	Valor de los activos fijos	-	Número de empleados	-
Kumar (2006)	Stock de capital	-	Gasto de personal	-
Linz y Tsegai (2009)	Gasto en intereses	Gasto de capital por unidad de <i>output</i>	Gasto de personal	Gasto de personal / número de empleados
Nahman y De Lange (2012)	Valor de los activos fijos	-	Número de empleados	-
Reynaud (2003)	-	-	Gasto de personal	Gasto de personal / número de empleados
Vallés y Zárata (2013)	Valor de los activos fijos	-	-	Gasto de personal / número de empleados
Wang y Lall (2002)	Valor de los activos fijos	-	Número de empleados	-

Referencia	Energía		Suministros	
	Gasto o Cantidad	Precio	Gasto o Cantidad	Precio
Angulo <i>et al.</i> (2014)	-	-	Gasto en suministros	-
Arbués <i>et al.</i> (2010a)	-	-	-	-
Babin <i>et al.</i> (1982)	-	-	-	-
Camizales y Bravo (2011)	Gasto en energía eléctrica	-	Valor de los bienes intermedios	-
Dachraoui y Harchaoui (2004)	-	-	Gasto en bienes intermedios	Índice de precios sectorial
Dupont y Renzetti (2001)	Gasto en petróleo, gas, electricidad y carbón	Media ponderada precios de petróleo, gas, electricidad y carbón	Gasto en bienes intermedios	Índice de precios sectorial de bienes intermedios
Féres <i>et al.</i> (2012)	-	Gasto en energía / Kilovatios consumidos	-	-
Féres y Reynaud (2005)	Gasto en petróleo, gas, electricidad y carbón	Media ponderada precios de petróleo, gas, electricidad y carbón	Gasto en bienes intermedios	Índice de precios sectorial de bienes intermedios
Gómez-Ugalde <i>et al.</i> (2012)	-	Gasto en energía / Kilovatios consumidos	-	-
Grebenstein y Field (1979)	-	-	-	-
Guerrero (2005)	-	-	Gasto en bienes intermedios	Gasto en bienes intermedios por unidad de <i>output</i>
Ku y Yoo (2012)	-	-	Valor de los bienes intermedios	-
Kumar (2006)	-	-	Valor de los bienes intermedios	-
Linz y Tsegai (2009)	Gasto en electricidad y diesel	Media ponderada precios de electricidad y diesel	-	-
Nahman y De Lange (2012)	Energía consumida	-	-	-
Reynaud (2003)	-	-	-	-
Vallés y Zárata (2013)	-	-	Gasto en materias primas	-
Wang y Lall (2002)	-	-	-	-

Por último, el gasto en suministros (materias primas y otros bienes y servicios) se suele medir a través del gasto en bienes intermedios (excluyendo el agua y la energía). La cantidad de suministros se aproxima a través de su correspondiente valor monetario. Para su precio se suele emplear un índice de precios de los bienes intermedios (véase Tabla 1.3, columnas 9 y 10).

1.3.4 Sector y rama de actividad

Cada sector y rama de actividad tiene unas características productivas específicas que condicionan el *mix* de *inputs* y, por tanto, las necesidades de agua. En consecuencia, parece razonable suponer que el tipo de actividad de la empresa será uno de los factores determinantes de la demanda de agua.

La literatura así lo ha entendido, de modo que un número significativo de trabajos se han dedicado a analizar las diferencias existentes entre ramas de actividad, bien estimando la demanda de agua para cada rama por separado, o bien introduciendo variables dicotómicas en una ecuación común para todas ellas (véase Tabla 1.2, columna 4). Sin embargo, como ya se señaló previamente (véase la columna 6 de la Tabla 1.1), el protagonismo ha correspondido a las ramas manufactureras y son pocos los trabajos que se han preocupado por las actividades del sector servicios o comparado la situación de los servicios y las manufacturas.

De entre los trabajos que incluyen el sector servicios en su objeto de estudio, algunos, como Malla y Gopalakrishnan (1999) y Reynaud (2003), no establecen diferencias entre los factores que determinan la demanda de agua en el sector industrial y en los servicios. Otros, por el contrario, sí introducen elementos diferenciales. Por ejemplo, Williams y Suh (1986) consideran que la temperatura es un factor determinante de la demanda de agua comercial; y Lynne (1977) y Lynne *et al.* (1978) introducen la superficie de los establecimientos comerciales y de hostelería como variable explicativa adicional en la ecuación de demanda de agua.

1.3.5 Tecnología

La tecnología determina la relación de transformación entre los *inputs* —el agua entre ellos— y el producto de la empresa, por lo que debe tratarse como un factor condicionante clave de la demanda de agua. Por ello, resulta conveniente la introducción en la estimación de una variable que recoja la heterogeneidad tecnológica existente entre las unidades productivas objeto de estudio, bien por el transcurso del tiempo o bien, en un determinado momento, por las diferencias existentes entre ramas de actividad o entre las empresas de una misma rama. Sin embargo, la medición de la tecnología se enfrenta a serias dificultades [Archibugi (1988)], lo que es fuente inevitable de discusión.

Las soluciones prácticas al problema de cómo incorporar la tecnología en la estimación de la demanda de agua han seguido dos direcciones. Los trabajos en los que predomina una perspectiva de series temporales han procurado buscar soluciones simples,

identificando la evolución de la tecnología con una variable de tendencia temporal. Los trabajos construidos sobre cortes transversales necesitan de información específica que permita reducir la heterogeneidad de la muestra, por lo que la tecnología de cada unidad productiva se suele aproximar mediante indicadores tales como la antigüedad (de la empresa, de la planta o del proceso productivo) o el nivel tecnológico expresado mediante indicadores construidos *ad hoc* (véase Tabla 1.2, columna 5).

1.4 Modelos y técnicas de estimación

1.4.1 Modelo teórico de referencia

Una de las diferencias fundamentales a la hora de trabajar con la demanda de agua para usos productivos, en comparación con la destinada al consumo de los hogares, es que el agua para los hogares es un bien de consumo final cuya demanda se deriva de una función de utilidad, mientras que para las empresas el agua es un *input* utilizado en el proceso productivo. La función de producción permite caracterizar este proceso mediante una relación técnica precisa entre el *output* y las cantidades de *inputs*, incluida el agua.

En consecuencia, el modo idóneo de abordar la estimación de la demanda de agua para usos productivos es partiendo de una función de producción. En tal caso, asumiendo que los precios de los *inputs* son exógenos, y que el volumen de *output* está dado, resulta inmediato obtener la función de costes. El lema de Shephard permite deducir las funciones de demanda de *inputs* a partir de esa función de costes. El resultado es una ecuación (la función de demanda derivada) en la cual la cantidad demandada de cada *input* depende de su propio precio, del precio de los demás *inputs* y del volumen de producción [Varian (2014)]. La estimación de un modelo de este tipo permite calcular la elasticidad precio directa de cada *input*, la elasticidad *output* y las elasticidades de sustitución entre los distintos *inputs*.

Este enfoque se lleva a la práctica, preferentemente, en el contexto de sistemas de ecuaciones aparentemente no relacionadas (ecuaciones SURE), donde la variable explicada en cada ecuación es la participación de cada *input* en los costes totales (funciones de participación en costes). Los trabajos de Dupont y Renzetti (2001) y Féres y Reynaud (2005) han sido clave para asentar este enfoque, aunque los primeros en aplicarlo fueron Grebenstein y Field (1979) y Babin *et al.* (1982). Los problemas aparecen por la dificultad de acceder a la información sobre los costes y precios de todos los factores productivos. Así, sólo un tercio de los trabajos revisados ha construido la especificación del modelo a partir de una función de costes (véase Tabla 1.4, columna 2).

Una alternativa para afrontar estas carencias de información sobre la estructura productiva de la empresa consiste en utilizar el supuesto de separabilidad entre *inputs* [Chambers (1988)], lo que resulta en funciones de demanda derivadas simplificadas, en las que la demanda del *input* (agua en este caso) depende de su propio precio y del volumen de producción. Este es el caso, por ejemplo, de Renzetti (1988, 1992a), Dupont y Renzetti

Tabla 1.4: Tipo de función, forma funcional y técnicas de estimación

Referencia	Tipo función	Forma funcional	Técnica de estimación	Tratamiento de la endogeneidad
Angulo <i>et al.</i> (2014)	F. costes	<i>Translog</i>	SURE	Precio retardado
Arbués <i>et al.</i> (2010a)	F. demanda	Doble logarítmica	GMM en 2 etapas	
Babin <i>et al.</i> (1982)	F. costes	<i>Translog</i>	SURE	
Bell y Griffin (2008)	F. demanda	F. de raíz cuadrada	MCG	VI: Variables climatológicas y renta
Bruneau y Renzetti (2014)	F. demanda	Lineal	MC en 2 etapas	VI: Región, rama de actividad, tendencia temporal, gasto capital relacionado con suministro de agua
Canizales y Bravo (2011)	F. producción	<i>Translog</i>	MCO	-
Dachraoui y Harchaoui (2004)	F. costes	<i>Translog</i>	SURE	Precio retardado
Deyà-Tortella <i>et al.</i> (2016)	F. demanda	-	Regresión cuantílica	Precio diferencia
De Rooy (1974)	F. demanda	Doble logarítmica	MCO	-
Dupont y Renzetti (1998)	F. costes	<i>Translog</i>	MC en 3 etapas	-
Dupont y Renzetti (2001)	F. costes	<i>Translog</i>	SURE	VI: Características tarifa agua
Féres <i>et al.</i> (2012)	F. demanda	Doble logarítmica	MCO	-
Féres y Reynaud (2005)	F. costes	<i>Translog</i>	SURE	-
García-Valiñas (2005)	F. demanda	Lineal	GMM	-
Gómez-Ugalde <i>et al.</i> (2012)	F. demanda	Lineal	MCO	-
Grebenstein y Field (1979)	F. costes	<i>Translog</i>	SURE	-
Guerrero (2005)	F. costes	<i>Translog</i>	SURE	-
Ku y Yoo (2012)	F. producción	<i>Translog</i> y doble logarítmica	n.e.	-
Kumar (2006)	F. producción	<i>Translog</i>	PL	-
Linz y Tsegai (2009)	F. costes	<i>Translog</i>	SURE	-
Lynne (1977)	F. demanda	Log-lineal	n.e.	-
Lynne <i>et al.</i> (1978)	F. demanda	Log-lineal	n.e.	-
Malla y Gopalakrishnan (1999)	F. demanda	Lineal	MCO y MCG	-
Mitchell <i>et al.</i> (2000)	F. demanda	Lineal	n.e.	-
Moeltner y Stoddard (2004)	F. demanda	Semilogarítmica	MCG en 2 etapas	VI: Características tarifa agua
Nahman y De Lange (2012)	F. producción	<i>Translog</i>	MCO	-
Onjala (2001)	F. costes	Cobb-Douglas	MC en 3 etapas	VI: Características tarifa agua
Renzetti (1988)	F. costes	Cobb-Douglas	MC en 2 etapas	VI: Características tarifa agua
Renzetti (1992a)	F. costes	<i>Translog</i>	MC en 3 etapas	VI: Características tarifa agua
Renzetti (1993)	F. demanda	Doble logarítmica	MV	VI: Características tarifa agua
Reynaud (2003)	F. costes	<i>Translog</i>	MCGF	-
Schneider y Whitlatch (1991)	F. demanda	Lineal	MCG	-
Stone y Whittington (1984)	F. demanda	Lineal	MCO	-
Turnovsky (1969)	F. demanda	Doble logarítmica	MCO	-
Vallés y Zárate (2013)	F. demanda	Doble logarítmica	MCGF	-
Wang y Lall (2002)	F. producción	<i>Translog</i>	n.e.	-
Williams y Suh (1986)	F. demanda	Log-lineal	MCO	-
Ziegler y Bell (1984)	F. demanda	Exponencial	MCO	-
Zhou y Tol (2005)	F. demanda	Doble logarítmica	MCGF	-

Nota: MC: Mínimos Cuadrados, MCO: Mínimos Cuadrados Ordinarios, MCG: Mínimos Cuadrados Generalizados, MCGF: Mínimos Cuadrados Generalizados Factibles, MV: Máxima Verosimilitud, SURE: Estimación de Ecuaciones Aparentemente no Relacionadas, GMM: Método de los Momentos Generalizado, VI: Variables Instrumentales, n.e.: no especificado.

(1998), Onjala (2001) y Reynaud (2003). Sin embargo, el supuesto de separabilidad no es neutral y debería contrastarse antes de ser activada. Por lo que nosotros sabemos, sólo Reynaud (2003) se ha planteado contrastar su validez antes de ser utilizada.

Otros trabajos han optado por un nivel de formalización inferior, de acuerdo a la tradición existente en el ámbito de la demanda de agua para usos domésticos, modelizando funciones de demanda simplificadas. En general, se trata de modelos uniecuacionales donde la cantidad consumida de agua se hace depender del propio precio y del nivel de actividad. Como puede comprobarse en la columna 2 de la Tabla 1.4, este enfoque tiene bastante presencia en la literatura debido a que, en muchas ocasiones, es la única alternativa viable para superar las limitaciones de información. Sin embargo, de nuevo resulta difícilmente justificable asumir el supuesto de separabilidad implícito en estos modelos, dado el conjunto de restricciones en las que se basa.

1.4.2 Forma funcional

De modo mayoritario, los trabajos que han examinado la demanda de agua apoyándose en la función de producción, ya sea utilizando las funciones de demanda derivada o estimando directamente esta función, han asumido una función de producción de tipo *translog* (véase Tabla 1.4, columna 3). Las únicas excepciones son Renzetti (1988) y Onjala (2001), que se mueven en un entorno Cobb-Douglas. La preferencia por la función *translog* se basa en su generalidad (de hecho, la Cobb-Douglas es un caso particular de la *translog*), flexibilidad, parsimoniosidad y en el hecho de que es homogénea en precios [Christensen *et al.* (1971, 1973)]; además, permite trabajar con tecnologías multi-producto [Reynaud (2003)].

Los trabajos que proponen estimar directamente funciones simplificadas de demanda de agua tienden a desarrollar especificaciones sencillas basadas en una aproximación lineal, log-lineal o doblemente logarítmica.

Desde nuestro punto de vista, uno de los aspectos negativos en lo que se refiere al tema de la forma funcional es que en la literatura se ha impuesto una solución claramente paramétrica, basada en el manejo de un número limitado de funciones de producción que el analista acepta *a priori*. Destaca la falta de preocupación por contrastes esenciales de especificación relativos a la forma funcional (por ejemplo, el test RESET) y el olvido de técnicas más flexibles (como el enfoque Box-Cox) para acotar mejor el problema de la forma funcional. En un contexto más general, podemos apuntar al problema de la potencial no linealidad de la tecnología de producción. El modelo Cobb-Douglas, el CES o el *translog* se caracterizan por ser linealizables, que es el terreno en el que se ha movido esta literatura, lo que deja fuera otras alternativas como la función VES [Revankar (1971)] y otras más generales [McCarthy (1967), Diewert (1971)]. No debe olvidarse que en las últimas décadas ha habido un importante desarrollo del análisis econométrico dedicado a los métodos no paramétricos que evitan, precisamente, la asunción de hipótesis excesivamente restrictivas e insuficientemente avaladas por la evidencia empírica.

1.4.3 Técnica de estimación

No hay demasiada variedad en lo que se refiere a los procedimientos de estimación de las ecuaciones y modelos especificados para atender la cuestión del agua para usos productivos no agrarios. En general, los trabajos que se centran en la función de demanda simplificada, han recurrido a Mínimos Cuadrados Ordinarios o Mínimos Cuadrados Generalizados (véase Tabla 1.4, columna 4), mientras que la mayor parte de los trabajos que se vinculan a una función de costes, estiman conjuntamente las ecuaciones de participación como un sistema SURE. Por razones de eficiencia, en la mayor parte de los casos también se incluye en el SURE la ecuación de costes [las únicas excepciones son Grebenstein y Field (1979) y Babin *et al.* (1982)].

En general, las técnicas de estimación e inferencia se han movido en paralelo con el tratamiento que se le ha dado a dos cuestiones fundamentales a la hora de estimar la demanda de agua. La primera de ellas tiene que ver con la especificación del precio del agua que, como ya se ha mencionado, ha sido objeto de un intenso debate en la literatura. Asociada a esta discusión surge el problema de la endogeneidad, cuestión que ninguna de las especificaciones contempladas en la Subsección 1.3.1 logra resolver. Por un lado, la utilización del precio medio, entendido como cociente entre gasto en agua y consumo de agua, genera obvios problemas de endogeneidad, ya que este precio depende de la cantidad consumida, salvo en el caso poco habitual de que se apliquen tarifas uniformes sin cuota fija. Por otro lado, la utilización del precio marginal también se enfrenta a problemas cuando en el ámbito de estudio se aplican tarifas por bloques o tarifas de precios medios variables, puesto que en tales casos dicho precio depende de la cantidad de agua consumida.

Este problema de endogeneidad se ha abordado habitualmente mediante el uso de variables instrumentales. Como es bien conocido, se trata de variables incorporadas al modelo que, idealmente, no deben estar correlacionadas con la endógena de la ecuación pero sí muy relacionadas con la variable afectada por problemas de endogeneidad (el precio en este caso). En la columna 5 de la Tabla 1.4 se resumen algunos de los principales instrumentos empleados en esta literatura. Habitualmente se trata de variables que captan las principales características de la tarifa del agua, como el número de bloques, el precio marginal de cada bloque, la diferencia de precio entre bloques, o la cuota fija de conexión a la red.

El uso de variables instrumentales conduce generalmente a modelos en los que una ecuación se dirige a la formación del precio y otra explica la demanda de agua. A continuación, el modelo puede estimarse por métodos de Máxima Verosimilitud [Renzetti (1993)] o por métodos más directos como Mínimos Cuadrados en dos o en tres etapas [entre otros, Renzetti (1988, 1992a), Dupont y Renzetti (1998) y Bruneau y Renzetti (2014)]. En muchos casos, no es sencillo encontrar variables instrumentales adecuadas, por lo que una solución bastante habitual consiste en utilizar retardos de la variable que se necesita instrumentar, por ejemplo, el primer o el segundo retardo del precio del agua [Dachraoui y Harchaoui (2004), Angulo *et al.* (2014)]. La adopción de esta solución implica asumir que el término de error de la ecuación no presenta dependencia temporal.

La segunda cuestión tiene que ver con la fuerte heterogeneidad en el uso de agua para actividades productivas. Como se ha comentado, la literatura ha entendido que las generalizaciones no son aconsejables en este contexto, predominando en la actualidad los estudios que usan datos desagregados, por ramas de actividad y/o por regiones. Sin embargo, aunque algunos trabajos empíricos han empleado datos con una dimensión espacial, el foco de la discusión siempre ha tenido muy poca relación con lo que ocurre en esa dimensión; por el contrario, el interés se ha centrado en la evolución del conjunto del sistema, tratado como un todo uniforme, o en la dimensión sectorial. No obstante, hay algún síntoma reciente de cambio en el sentido de conferir más valor a la dimensión espacial. Por ejemplo, Deyà-Tortella *et al.* (2016) plantean un modelo de demanda de agua en el que utilizan la variabilidad municipal de los precios marginales del agua en la escala de tramos de consumo (junto con un algoritmo de regresión cuantílica), como medio para romper con el problema de endogeneidad.

Otra cuestión a destacar es la escasa dinámica incorporada en los modelos. La mayoría de trabajos adoptan especificaciones estáticas donde se presume que existe una relación de equilibrio a largo plazo en la que los ajustes se resuelven instantáneamente [Arbués *et al.* (2010a) es el único caso que hemos encontrado en el que se introduce una estructura dinámica]. Esta situación es peculiar considerando el gran peso que tienen los modelos dinámicos en la investigación aplicada contemporánea. De hecho, en el ámbito de la demanda de agua por los hogares abundan los modelos dinámicos [entre otros, Höglund (1999), Nauges y Thomas (2000, 2003) y Arbués *et al.* (2004)]. Algunas de las razones de la ausencia de modelos dinámicos son la baja frecuencia de los datos (en general son series anuales mientras que en el ámbito doméstico abundan los datos de frecuencia infra-anual) y los problemas para constituir series representativas suficientemente largas. Sin duda, deberían hacerse esfuerzos para corregir esta situación porque parece claro que las decisiones de los agentes se toman en un contexto temporal dinámico.

También resulta extraña la poca atención que hasta el momento se le ha prestado al estudio de las propiedades estadísticas de las series usadas en los modelos de demanda de agua para usos productivos. De hecho, no conocemos ninguna referencia en este contexto en la que la especificación se haya pasado por el tamiz del análisis de integración y cointegración a pesar de que, desde el principio, se están utilizando, como se ha dicho, relaciones de equilibrio a largo plazo. Sin embargo, en el ámbito doméstico podemos citar los trabajos de Martínez-Espiñeira (2007), Zaied y Binet (2015) o Zaied y Cheikh (2015). Una razón que puede explicar la falta de este tipo de análisis es la reducida longitud temporal de las series de datos con las que habitualmente se trabaja. En todo caso, este tipo de cuestiones deberían tratarse con especial cuidado cuando se está discutiendo sobre los factores determinantes de un factor productivo.

1.5 Resultados

Los principales resultados obtenidos por la literatura se resumen en las Tablas 1.5 a 1.7. Para facilitar su análisis, nos ocupamos primero (en las cuatro primeras subsecciones) de los resultados referidos al agua de red y al agua captada total (la cual incluye el agua de red) y, a continuación, en la última subsección, de los resultados referidos específicamente al agua autosuministrada y al agua reutilizada.

1.5.1 Elasticidad precio directa

Las columnas 3 a 5 de la Tabla 1.5 muestran la elasticidad precio directa del agua según los resultados obtenidos en los trabajos que hemos analizado; en concreto se indica el valor medio, máximo y mínimo en cada caso.

La elasticidad precio directa es normalmente negativa, señalando que un aumento del precio del agua provoca una reducción de la cantidad de agua demandada. Esta elasticidad varía desde valores inferiores a $-0,1$ [Ziegler y Bell (1984), Canizales y Bravo (2011), Vallés y Zárata (2013)] hasta valores en torno a $-1,1$ [Féres y Reynaud (2005), Kumar (2006)]. Sin embargo, la comparación de elasticidades entre estudios diferentes debe hacerse con cautela ya que, como se ha expuesto previamente, los trabajos presentan grandes diferencias en cuanto a tipo de datos, ámbito temporal y geográfico, especificación del precio del agua, formas funcionales y técnicas de estimación.

La principal conclusión que se deriva de estos resultados es que la demanda de agua para usos productivos no agrarios es, en general, inelástica (elasticidad precio directa menor que la unidad) y que esta elasticidad es mayor que en el caso doméstico, según se constata en los trabajos que se han ocupado de ambos tipos de usuarios para un mismo ámbito espacial y temporal [véase, por ejemplo, Turnovsky (1969), Williams y Suh (1986), Stone y Whittington (1984), Bell y Griffin (2008) o Gómez-Ugalde *et al.* (2012)]. El carácter inelástico de la demanda puede atribuirse a varias razones entre las que podemos citar la dificultad para encontrar sustitutivos del agua o a que los usuarios no perciben correctamente la estructura tarifaria y, por tanto, el precio del agua. También puede influir el hecho de que el gasto en agua supone, habitualmente, una fracción muy reducida de los costes totales de la empresa, lo que hace que las decisiones de utilización de agua sean, en muchos casos, marginales y supeditadas a otras decisiones, estratégicas, sobre tecnología y volumen de producción [Gibbons (1986)].

La posición dominante en la literatura es que la demanda de agua es suficientemente elástica como para permitir a los gestores públicos emplear el precio como instrumento de gestión del recurso. Aunque esta es una cuestión que continúa sometida a discusión ante la diversidad de valores obtenidos y la abundancia de elasticidades muy bajas o no significativas. Algunos autores, más centrados en el agua para usos domésticos, enfatizan esta problemática, como es el caso de Renwick y Green (2000), Renzetti (2002), Martínez-Espiñeira y Nauges (2004), Arbués y Villanúa (2006) o Wichman (2014), entre otros.

Tabla 1.5: Elasticidad precio directa y elasticidad *output* del agua

	Precisiones sobre la estimación	Elasticidad precio			Elasticidad <i>output</i>		
		Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo
Agua captada total							
De Rooy (1974)	Refrigeración	-0,894	-	-	1,21	-	-
	Producción	-0,354	-	-	1,36	-	-
	Generación vapor	-0,59	-	-	1,24	-	-
Dachraoui y Harchaoui (2004)		-	-	-	0,76	-	-
Dupont y Renzetti (1998)		-0,342	-0,384 (fruta)	-0,264 (lácteo)	0,46	0,501 (carne)	0,276* (fruta)
Dupont y Renzetti (2001)		-0,77	-	-	0,69	-	-
Fères <i>et al.</i> (2012)	Con reutilización	-0,53	-	-	0,66	-	-
	Sin reutilización	-0,23	-	-	0,53	-	-
Fères y Reynaud (2005)		-1,085	-	-	0,91; -0,16* (V)	-	-
Guerrero (2005)		-0,297	-3,09 (bebidas)	-0,21 (azúcar)	-	-	-
Ku y Yoo (2012)		-	-	-	0,0104	0,0482 (minerales no metálicos)	0,0016 (instrumentos precisión)
Kumar (2006)		-1,1	-0,942 (cuero)	-0,301 (farmacéutico)	-	-	-
Linz y Tsegai (2009)		-0,852	-	-	-	-	-
Malla y Gopalakrishnan (1999)	MCO	-	-0,317* (alimentación)	-0,087* (resto ramas)	-	2,55 (resto ramas)	0,298 (alimentación)
	MCG	-	-0,37 (alimentación)	-0,074* (resto ramas)	-	0,255 (alimentación)	0,058* (resto ramas)
Nahman y De Lange (2012)		-3,0	-6,81 (papel)	1,10 (bebida)	-	-	-
Onjala (2001)		-	-0,369	-0,209	-	-	-
Renzetti (1988)		-	-0,54 (ligerera)	-0,12 (petroquímica)	-	1,94 (l. ligera)	0,69 (l. pesada)
Renzetti (1992a)		-0,38*	-0,59 (papel)	-0,15 (caucho)	-	-	-
Stone y Whittington (1984)		-0,25	-	-	-	-	-
Wang y Lall (2002)		-1,03	-0,57 (generación eléctrica)	-1,2 (cuero)	0,17	0,26 (cuero)	0,03 (generación eléctrica)
Ziegler y Bell (1984)	PM	-0,078	-	-	-	-	-
	PMg	0,00001	-	-	-	-	-
Zhou y Tol (2005)		-0,35	-	-	-0,32	-	-
Agua de red							
Angulo <i>et al.</i> (2014)		0,082* (S)	-0,375 (hoteles)	0,324* (restaurantes)	0,398 (S)	0,645 (hoteles)	0,316 (bares)
Arbués <i>et al.</i> (2010a)	CP	-0,249	-	-	0,195	-	-
	LP	-0,567	-	-	0,444	-	-
Babin <i>et al.</i> (1982)		-0,56	-0,66 (papel)	0,54* (eléctrico y electrónico)	-	-	-
Bell y Griffin (2008)	CP	-0,084* (I); -0,483* (S)	-	-	-	-	-
	LP	0,306* (I); -1,086 (S)	-	-	-	-	-
Canizales y Bravo (2011)	Año 2003	-0,078	-0,07 (azúcar)	-0,006 (cartón)	-	-	-
	Año 2008	-0,074	-0,05 (azúcar)	-0,012 (lácteos)	-	-	-
Deyà-Tortella <i>et al.</i> (2016)		-0,024*	-	-	-	-	-
García-Valiñas (2005)	Demanda normal	-0,12	-	-	-	-	-
	Demanda punta	-0,13	-	-	-	-	-
Gómez-Ugaldé <i>et al.</i> (2012)		-1,03 (S)	-	-	1,22 (S)	-	-
Greibenstein y Field (1979)	Datos AWWA	-0,326*	-	-	-	-	-
	Datos MM	-0,801	-	-	-	-	-
Lynne (1977)		-	-1,33 (grandes almacenes)	-0,12 (hoteles)	-	-	-
Lynne <i>et al.</i> (1978)		-	-1,07 (grandes almacenes)	-0,11 (hoteles)	-	-	-
Mitchell <i>et al.</i> (2000)		-0,92	-	-	2,85	-	-
Moeltner y Stoddard (2004)		-	-0,625 (ocio)	-0,226 (hostelería)	-	-	-
Renzetti (1993)		-0,75	-2,17 (alimentación)	-0,66* (petróleo)	0,76	0,74 (alimentación)	0,59 (metal)
Reynaud (2003)		-0,29 (I); -0,272 (S)	-0,79 (otras ramas)	-0,1* (alcohol)	0,34; 0,36 (V)	-	-
Schneider y Whitlatch (1991)	CP	-0,438* (I); -0,234 (S)	-	-	-	-	-
	LP	-0,112* (I); -0,918 (S)	-	-	-	-	-
Turnovsky (1969)		-0,5	-	-	-	-	-
Vallés y Zárata (2013)	PM	-0,012	-	-	0,301	-	-
	PMg	-0,009	-	-	0,299	-	-
Williams y Suh (1986)	PM	-0,735 (I); -0,36 (S)	-	-	0,2 (I); 0,17 (S)	-	-
	PMg	-0,437 (I); -0,14* (S)	-	-	0,18 (I); 0,18 (S)	-	-
	FTM1	-0,721 (I); -0,23* (S)	-	-	0,29 (I); 0,2 (S)	-	-
	FTM2	-0,975 (I); -0,34 (S)	-	-	0,27 (I); 0,2 (S)	-	-
	FTM3	-0,761 (I); -0,31 (S)	-	-	0,3 (I); 0,21 (S)	-	-
Agua autosuministrada							
Renzetti (1993)		-0,31	-1,14 (metal)	2,03* (textil)	1,09	1,14 (textil)	0,78 (papel)
Reynaud (2003)		0,25* (I); -0,046* (S)	-0,06* (química)	0,66* (metal)	0,58; 0,11 (V)	-	-
Agua reutilizada							
Bruneau y Renzetti (2014)		-0,24	-	-	1,04	-	-
Dupont y Renzetti (1998)		-0,69*	-	-	0,72	-	-
Dupont y Renzetti (2001)		-0,816	-1,347 (carne)	-0,761 (lácteo)	0,48	0,471 (lácteo)	0,34* (fruta)
Renzetti (1988)		-	-0,77 (l. ligera)	-0,44 (l. pesada)	-	2,48 (petroquímica)	0,59 (l. pesada)
Renzetti (1992a)		-1,83	-1,48 (textil)	-0,51 (bebidas)	-	-	-

Nota: I: Industria, S: Servicios, V: vertidos, CP: corto plazo; LP: largo plazo, PM: precio medio, PMg: precio marginal, FTP: factura típica mensual, MCO: Mínimos Cuadrados Ordinarios, MCG: Mínimos Cuadrados Generalizados.

*La elasticidad no es estadísticamente significativa al 5%.

Otro aspecto a reseñar es que las estimaciones dependen en gran medida de las ramas de actividad consideradas. En general, las actividades en las que el agua representa una mayor proporción en el gasto total suelen tener una demanda más elástica. En concreto, las ramas que regularmente presentan una mayor elasticidad son la industria papelera [Babin *et al.* (1982), Nahman y De Lange (2012), Renzetti (1992a, 1993)] y la alimentaria [Renzetti (1993), Dupont y Renzetti (1998), Malla y Gopalakrishnan (1999), Guerrero (2005), Canizales y Bravo (2011)].

Los trabajos que han analizado las diferencias existentes entre el sector industrial y el de servicios han obtenido resultados contradictorios: unos obtienen una elasticidad mayor en el sector servicios [Bell y Griffin (2008), Gómez-Ugalde *et al.* (2012)] y otros en la industria [Williams y Suh (1986), Reynaud (2003)]. No parece fácil conciliar estas discrepancias, aunque las diferencias de elasticidad reflejan que los distintos sectores y ramas de actividad utilizan el agua con distinta intensidad y para fines diferentes [Williams y Suh (1986)].

En esta última línea, algunos trabajos han identificado el uso dado al agua en el proceso productivo y lo han incorporado al análisis. La clasificación que se adopta en estos casos es la propuesta por De Rooy (1974), el cual distingue el agua según se emplee para refrigeración, incorporación al producto final, generación de vapor o limpieza. Los resultados de los trabajos que han abordado esta cuestión vuelven a ser contradictorios, ya que De Rooy (1974) encuentra que la elasticidad precio cuando el agua es incorporada al producto final es menor que cuando se emplea para los otros usos, en tanto que Dupont y Renzetti (2001) encuentran que es mayor.

1.5.2 Elasticidad *output*

En general, los resultados relativos a la elasticidad de la demanda frente al *output* muestran una relación positiva (véase Tabla 1.5, columnas 6 a 8). La interpretación es evidente: las empresas con mayor volumen de producción utilizan una mayor cantidad de agua. Esta elasticidad tiende a ser sistemáticamente inferior a la unidad, aunque también existen algunas excepciones [por ejemplo, De Rooy (1974), Mitchell *et al.* (2000) o Gómez-Ugalde *et al.* (2012)]. Las grandes variaciones que se aprecian en la cuantía de las elasticidades pueden atribuirse a las diferencias en cuanto a ramas de actividad analizadas, ámbito temporal y geográfico, naturaleza de los datos, forma funcional seleccionada o técnicas de estimación usadas.

La fuerte elasticidad de la demanda de agua con respecto al volumen de producción muestra la conveniencia de que los decisores públicos tomen en consideración la evolución del nivel de actividad económica para prever la cantidad de agua demandada y poder planificar la capacidad del servicio de abastecimiento y saneamiento.

La consideración de los vertidos de agua como un subproducto del proceso productivo corrobora que las empresas que consumen un mayor volumen de agua también vierten una mayor cantidad de aguas residuales [Reynaud (2003)]. Lo anterior no excluye

la posibilidad de que una empresa vierta una cantidad menor a la captada debido, por ejemplo, a que parte del agua se incorpora al *output* a lo largo del proceso productivo, a la evaporación o a posibles fugas.

1.5.3 Elasticidades cruzadas

La literatura ha analizado la relación entre los *inputs* utilizando diferentes especificaciones de la elasticidad: la elasticidad precio cruzada, la elasticidad precio cruzada neta, la elasticidad de sustitución parcial de Allen (ESA) o la elasticidad de sustitución de Morishima (ESM). La elección entre estas especificaciones, como comprueban Guerrero (2005) y Kumar (2006), puede afectar tanto a la cuantía como al signo de la elasticidad. La más cuestionable de todas parece ser la ESA ya que, como indican Blackorby y Russell (1989), no proporciona más información que la elasticidad precio cruzada y presenta serios inconvenientes como medida de la facilidad de sustitución entre *inputs*.

La Tabla 1.6 muestra los resultados obtenidos al analizar la relación entre el agua y los demás factores productivos. Nuevamente, la nota característica es la heterogeneidad. Los primeros trabajos concluyen que el agua es complementaria con respecto al capital y sustitutiva con respecto al trabajo [Grebstein y Field (1979), Babin *et al.* (1982)]. Posteriormente, con datos más consistentes y técnicas más avanzadas, la evidencia apunta a que el agua es sustitutiva tanto del trabajo como del capital [por ejemplo, Dupont y Renzetti (2001), Dachraoui y Harchaoui (2004), Féres y Reynaud (2005), Linz y Tsegai (2009) y Angulo *et al.* (2014)]. La relación entre el agua y los materiales o la energía no resulta tan clara, ya que algunos estudios encuentran que tal relación es de complementariedad y otros que es de sustituibilidad.

Tabla 1.6: Elasticidades cruzadas entre el agua y el resto de *inputs*

Referencia	Tipo de elasticidad	Agua-Capital	Agua-Trabajo	Agua-Energía	Agua-Materiales
Agua captada total					
De Rooy (1974)	Elasticidad precio cruzada		S		
Dachraoui y Harchaoui (2004)	ESA	S	S		
Dupont y Renzetti (2001)	Elasticidad precio cruzada a <i>output</i> constante	S*	S	S*	C*
Féres <i>et al.</i> (2012)	Elasticidad precio cruzada			C	
Féres y Reynaud (2005)	Elasticidad precio cruzada	S*	S*	S	C*
Guerrero (2005)	Elasticidad precio cruzada a <i>output</i> constante, ESA y ESM		S*		S*
Kumar (2006)	Elasticidad precio cruzada a <i>output</i> constante, ESA y ESM	S (C* si ESM)	C*		C
Linz y Tsegai (2009)	Elasticidad precio cruzada	S	S	C	
Agua de red					
Angulo <i>et al.</i> (2014)	ESA	S	S		S
Babin <i>et al.</i> (1982)	Elasticidad precio cruzada a <i>output</i> constante	C	S		
Gómez-Ugalde <i>et al.</i> (2012)	Elasticidad precio cruzada			C	
Grebstein y Field (1979)	Elasticidad precio cruzada a <i>output</i> constante	C	S		
Vallés y Zárate (2013)	Elasticidad precio cruzada	C	C		C*

Nota: C: Complementarios, ESA: Elasticidad de Sustitución de Allen, ESM: Elasticidad de Sustitución de Morishima.

*La elasticidad no es estadísticamente significativa al 5%.

1.5.4 Impacto de la tecnología

La mayoría de los trabajos que han incluido el progreso tecnológico (como se ha dicho, por la vía simple de introducir una variable tendencial) han obtenido un coeficiente negativo y significativo para esa variable [Dupont y Renzetti (2001), Dachraoui y Harchaoui (2004), Angulo *et al.* (2014)]; únicamente Onjala (2001) obtiene que la tecnología no es un factor significativo en la demanda de agua para usos industriales. Este signo negativo indica que el mero transcurso del tiempo ha ido reduciendo el uso de agua, presumiblemente por los avances en el desarrollo de tecnologías menos consumidoras de agua.

Los trabajos que han incorporado el cambio técnico a través de otras variables, como la antigüedad de la planta o el nivel tecnológico, obtienen que las empresas con un mayor nivel tecnológico y/o con una menor antigüedad de la planta emplean un menor volumen de agua [De Rooy (1974), Ziegler y Bell (1984), Vallés y Zárata (2013)]. Solamente Stone y Whittington (1984) obtienen que la tecnología, así introducida, no es significativa.

1.5.5 Determinantes y elasticidades del agua autosuministrada y el agua reutilizada

Los trabajos que analizan las fuentes alternativas de suministro de agua (red pública, autosuministro y reutilización) han tratado de dar respuesta a tres cuestiones fundamentales: de qué variables dependen las decisiones de autosuministro y reutilización, así como el volumen autosuministrado y reutilizado; cual es la elasticidad precio directa de los diferentes *inputs* hídricos; y qué relación, de complementariedad o sustituibilidad, existe entre los *inputs* hídricos.

i) Variables determinantes

Las variables que determinan la decisión de autosuministrarse son el volumen de actividad, el precio de los *inputs* hídricos (tanto del agua de red como de la propia agua autosuministrada) y la rama de actividad [Renzetti (1993)]. La influencia de esta última variable indica que las características productivas (procesos productivos y productos) de cada rama de actividad condicionan el acceso al autosuministro.

Por otro lado, las variables que inciden en la decisión de recurrir a la reutilización son el volumen de producción (aumentando la probabilidad de reutilizar), la rama de actividad y la región donde se ubica la empresa. Las diferencias sectoriales reflejan, igual que para el agua autosuministrada, los condicionantes derivados de las características productivas de cada rama [Bruneau *et al.* (2010), Féres *et al.* (2012), Bruneau y Renzetti (2014)]; las diferencias regionales reflejan el efecto de las distintas condiciones climáticas (las empresas localizadas en regiones áridas tienen mayores incentivos a reutilizar agua) y las distintas regulaciones o políticas sobre la reutilización según zonas [Bruneau *et al.* (2010), Bruneau y Renzetti (2014)]. Otra variable que influye, positivamente, en la decisión de reutilizar es la necesidad de tratamiento previo del agua antes de ser utilizada en el proceso productivo, ya que la reutilización puede sustituir al tratamiento incurriendo en

un menor coste [Bruneau *et al.* (2010), Bruneau y Renzetti (2014)]. Féres *et al.* (2012) también apuntan otras variables, como son el uso final dado al agua, el precio del agua, del capital y de la energía, y el recurso al autosuministro; en este último caso la relación es negativa, debido a que el reducido coste del autosuministro desincentiva la inversión en técnicas de reutilización.

En lo que respecta a los volúmenes, la evidencia disponible indica que el del agua autosuministrada depende, básicamente, de los mismos factores que inciden en la decisión de autosuministrarse [Renzetti (1993), Reynaud (2003)]. En el caso del agua reutilizada debe añadirse el coste del agua captada y el coste de la reutilización [Bruneau *et al.* (2010), Bruneau y Renzetti (2014)]; la relación es positiva con el primero y negativa con el segundo.

ii) Elasticidad precio directa

La elasticidad de la demanda de agua autosuministrada, según puede comprobarse en las columnas 3 a 5 de la Tabla 1.5, es muy reducida y menor que la correspondiente elasticidad del agua de red que obtienen los trabajos que analizan ambos tipos de agua. Reynaud (2003) apunta como motivo a la baja participación del agua autosuministrada en los costes totales y a su reducido precio; lo cual es debido, a su vez, a la inexistencia de una tarifa que grave el autosuministro de agua en la mayoría de los países y al escaso coste de bombeo y tratamiento.

La elasticidad de la demanda de agua reutilizada es, en cambio, relativamente elevada y mayor que la correspondiente elasticidad del agua de red obtenida por los trabajos que analizan ambos tipos de agua. Además, la elasticidad precio directa del agua de red suele ser mayor en las empresas que reutilizan debido a las posibilidades de sustitución entre el agua captada y el agua reutilizada y a que las empresas con este tipo de programas suelen tener un mayor porcentaje de gasto en agua [Féres *et al.* (2012)].

iii) Elasticidades cruzadas

Las elasticidades cruzadas entre los diferentes *inputs* hídricos (véase Tabla 1.7) muestran que el agua captada total y el agua reutilizada son sustitutivos [Renzetti (1988, 1992a), Dupont y Renzetti (1998, 2001), Féres *et al.* (2012)], lo que permite diseñar políticas de precios para incentivar la reutilización.

La relación entre el agua captada de la red y el agua autosuministrada sólo ha sido analizada por Reynaud (2003), obteniendo que son complementarios aunque tal relación no resulta suficientemente significativa. Este resultado sugeriría que ambos tipos de agua tienen usos diferentes dentro de las plantas productivas (una para usos sanitarios y para su incorporación al producto final, y la otra para refrigeración y generación de vapor), lo cual limitaría las posibilidades de la política de precios para orientar la demanda hacia uno u otro tipo de agua.

Tabla 1.7: Elasticidades cruzadas entre los distintos *inputs* hídricos

Referencia	Tipo de elasticidad	Autosuministrada-Red	Reutilizada-Captada total
Dupont y Renzetti (1998)	ESA	-	S
Dupont y Renzetti (2001)	Elasticidad precio cruzada a <i>output</i> constante	-	S
Féres <i>et al.</i> (2012)	Elasticidad precio cruzada	-	S
Renzetti (1988)	Elasticidad precio cruzada a <i>output</i> constante	-	S
Renzetti (1992a)	ESA	-	S
Reynaud (2003)	Elasticidad precio cruzada y ESA	C*	-

Nota: S: Sustitutivos, C: Complementarios, ESA: Elasticidad de Sustitución de Allen.

*La elasticidad no es estadísticamente significativa al 5 %.

1.6 Conclusiones

Los trabajos que estiman la demanda de agua para usos productivos no agrarios se caracterizan por la heterogeneidad, tanto en el tipo de información disponible como en la metodología empleada.

Entre los principales escollos a los que se enfrentan estos trabajos están la falta de información y las limitaciones en la información disponible. Estas dificultades han desalentado la investigación, lo que explica el reducido número de trabajos publicados, frente a la amplitud de estudios referidos a la demanda de agua para usos domésticos. A su vez, han condicionado las características de los trabajos publicados, principalmente, el tipo de datos utilizados, el *input* hídrico analizado, las variables seleccionadas y el tipo de función estimada.

Parece claro que la base ideal para afrontar este tipo de análisis son los paneles de microdatos. Sin embargo, en muchos casos, se dispone de datos para unos pocos años, o sobre un número reducido de empresas, o están referidos a un ámbito muy concreto, local o regional. Es decir, no se dispone de la suficiente información como para tener una visión de conjunto, por lo que se hace difícil profundizar en el análisis de las diferencias geográficas o sectoriales en el uso del agua.

La menor disponibilidad de información específica sobre el autosuministro y la reutilización, frente a la relativa al agua captada total o al agua de red, es determinante a la hora de explicar el fuerte desequilibrio entre el número de trabajos dedicados a un tipo de agua u otro. Del mismo modo, los problemas para disponer de información sobre muchos de los *inputs*, distintos del agua, que intervienen en el proceso productivo justifica la inclinación a estimar funciones de demanda simplificadas, que dependen únicamente del precio del agua y del nivel de producción. Por el contrario, el enfoque más eficiente consiste en estimar conjuntamente la función de costes y las funciones de demanda derivada de todos los *inputs*, por ejemplo, utilizando sistemas de ecuaciones SURE.

A las dificultades originadas por las carencias de información se suman otras de carácter estrictamente metodológico, principalmente por la falta de soluciones plenamente

satisfactorias a los problemas de especificación y endogeneidad del precio del agua. Al respecto, algunas de las propuestas avanzadas por la literatura, que resultan operativas en el ámbito doméstico, no son viables cuando se opera en el contexto de funciones de producción. La selección de la forma funcional y de las técnicas econométricas más adecuadas también constituye un reto. Son especialmente destacables las carencias en la introducción de estructuras dinámicas en los modelos y el análisis de las propiedades estadísticas de las series.

La fuerte heterogeneidad en el tipo de datos y en la metodología empleada tiene su reflejo en el amplio rango de variación que exhiben los resultados. Las conclusiones varían, además, en función del sector y la rama de actividad, reflejando las diferencias en los procesos productivos y los productos en que se utiliza el agua. Pese a ello, la mayoría de los trabajos coinciden en que la demanda de agua es suficientemente elástica para que los precios puedan ser empleados eficazmente para promover la conservación de este recurso natural. Además, se comprueba que el volumen de agua necesario está condicionado por el volumen de producción de las empresas, así como por el precio de los demás *inputs* y por la tecnología.

El conocimiento acumulado hasta el momento sobre las principales elasticidades que intervienen en la demanda de agua para usos productivos, tal como hemos tratado de plasmar en este capítulo, ofrece a los decisores públicos una orientación útil para el diseño de las políticas de precios y de inversión en el ciclo del agua. No obstante, esta revisión también pone de manifiesto la necesidad de más evidencia empírica, basada en investigaciones con datos más actualizados y una metodología más elaborada.

Capítulo 2

La demanda de agua urbana para actividades productivas. Una aplicación a la industria española con datos agregados

Resumen

España es uno de los países europeos con mayor escasez de agua, cada vez más agravada por el cambio climático. En consecuencia, el adecuado diseño de la política de gestión de la demanda de agua es esencial para conseguir un uso sostenible de este recurso. En este contexto, surge la necesidad de analizar la eficacia de los precios como instrumento de gestión de esa demanda en sus diversos usos. En este capítulo nos ocupamos de estimar la demanda de agua industrial, con especial atención a las diferencias sectoriales y regionales. Disponemos de un panel de datos para las comunidades autónomas españolas para el periodo 1993-2013, con una desagregación sectorial en 11 ramas de actividad. Tras analizar las propiedades estocásticas de las variables del modelo para garantizar una inferencia consistente, estimamos conjuntamente la función de costes *translog* y las funciones de participación en costes de los *inputs* (capital, trabajo, agua, energía y suministros). La elasticidad de la demanda de agua es -0,66, la elasticidad *output* es 1,04 y la relación entre el agua y el resto de *inputs* es de sustitución. Además, advertimos una fuerte heterogeneidad sectorial y regional. Por lo general, las ramas de actividad en las que el agua representa una mayor proporción de los costes totales presentan una mayor elasticidad de la demanda de agua, al igual que las regiones con clima más húmedo y las regiones con precios más bajos. Los resultados indican que la política de precios del agua puede emplearse eficazmente como mecanismo para incentivar un menor uso del recurso, pero que debe complementarse necesariamente con otro tipo de instrumentos para asegurar la contribución de todas las ramas de actividad al logro de ese objetivo y su continuidad en el tiempo.

2.1 Introducción

España es uno de los países europeos con mayor escasez de agua, cada vez más agravada por el cambio climático [European Environment Agency (2009)]. El principal problema es la existencia de sequías recurrentes, de modo especialmente acusado en el este, centro y sur del país, con un elevado riesgo de desertificación. A ello se une el importante peso que tiene la producción de cultivos de regadío en las zonas áridas, lo que genera continuos conflictos por el reparto de este recurso entre territorios y entre los diferentes usos.

El agua utilizada en España ascendió a 21.481 Hm³ en el año 2013, según el Instituto Nacional de Estadística [INE (2015b)]. Por grandes sectores, el 67,66 % correspondió a la agricultura, el 17,39 % al autosuministro (captación directa por el propio usuario) de agua para usos industriales y el restante 14,95 % a los usos urbanos (agua de red para usos domésticos, industriales y otros usos urbanos). A pesar de su menor peso, los usos urbanos tienen una relevancia especial por los requisitos de calidad y seguridad exigidos al suministro y por el potencial contaminante de sus vertidos.

El suministro de agua potable en los entornos urbanos en España se realiza a través de redes públicas de abastecimiento y es responsabilidad de los municipios, al igual que la

recogida y tratamiento de las aguas residuales. No obstante, los municipios pueden optar por prestar el servicio directamente o mediante la concesión del mismo a entes o empresas especializadas, ya sean de naturaleza pública o privada.

El agua suministrada por las redes públicas de abastecimiento y, posteriormente, registrada a través de los contadores instalados por los suministradores en el domicilio de los usuarios ascendió a 3.210 Hm³ en 2013. Como se comprueba en la Tabla 2.1, el 69,07 % fue utilizada por los hogares, el 21,63 % por los sectores económicos (actividades productivas de la industria y los servicios, principalmente) y el restante 9,30 % fue destinada a usos municipales y otros usos.

Tabla 2.1: Agua para usos urbanos suministrada a través de las redes municipales en España por tipo de usuario

	2000		2013		Δ 2013/2000
	Hm ³	%	Hm ³	%	%
Total	3.781,68	100,00	3.210,84	100,00	-15,09
Hogares	2.482,08	65,63	2.217,69	69,07	-10,65
Sectores económicos	840,16	22,22	694,66	21,63	-17,32
Usos municipales y otros	459,43	12,15	298,50	9,30	-35,03

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de INE (2015b).

Entre 2000 y 2013 se produjo una sustancial reducción del agua registrada, en contraste con el fuerte incremento habido de la población y la producción. En concreto, el total de agua suministrada a través de las redes municipales se redujo el 15 % (la reducción en la agricultura y el autosuministro de agua industrial fue del 14 % y 7 %, respectivamente), con una caída más acusada en el caso de los sectores económicos que en los hogares. Esta contracción del consumo de agua coincide en el tiempo con un incremento del 62 % del precio del recurso en términos reales: el precio medio del agua de red en 2000 era de 1,04 €/m³ y en 2013 de 1,69 €/m³.

Con estos datos, parece que los precios habrían sido utilizados eficazmente para incentivar el ahorro de agua, en línea con lo previsto en la Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/EC, 23 Octubre 2000) [European Community (2000)]. Lo que se habría visto favorecido por el hecho de que en España, a diferencia de lo que ocurre en otros países europeos, el agua suministrada a través de las redes municipales está controlada mediante contadores, de modo que cada usuario paga por el recurso en función de su consumo.

Sin embargo, la eficacia de los precios como instrumento de gestión de la demanda de agua para usos urbanos es una cuestión sometida a discusión a partir de los resultados de la literatura de aplicación porque en muchos casos se obtienen elasticidades precio de la demanda muy bajas o no significativas [Renwick y Green (2000), Renzetti (2002), Martínez-Espiñeira y Nauges (2004), Arbués y Villanúa (2006)].

Por tanto, resulta de interés analizar la eficacia de las políticas tarifarias y si éstas han contribuido, y en qué medida, al menor uso de agua por parte de los usuarios. Al respecto, la atención prestada en la literatura de aplicación a la demanda de agua de los sectores económicos ha sido muy escasa en comparación con la otorgada a la demanda de los hogares [véase Brookshire *et al.* (2002), Arbués *et al.* (2003), Worthington y Hoffman (2008), Nauges y Whittington (2010), para los hogares, y Renzetti (2002), Gispert (2004) y Worthington (2010), para los sectores económicos]. El caso español no es una excepción, pues sólo hemos localizado cuatro estudios referidos a los sectores económicos [García-Valiñas (2005), Arbués *et al.* (2010a), Vallés y Zárate (2013), Angulo *et al.* (2014)], de carácter exclusivamente local y referidos a determinadas ramas de actividad, en tanto que los estudios referidos a los hogares son bastante numerosos [entre otros, Martínez-Espiñeira (2002, 2003, 2007), Arbués *et al.* (2004, 2010b) y Martínez-Espiñeira y Nauges (2004)].

La escasez de estudios sobre el uso de agua de los sectores económicos se debe, principalmente, a la dificultad para obtener datos para llevar a cabo análisis de ese tipo. Esta dificultad es especialmente severa cuando se desea analizar el comportamiento de la demanda para el conjunto de las actividades productivas de un país. Por ello, gran parte de las referencias existentes han llevado a cabo estudios de carácter local o regional [entre otros, Reynaud (2003), Féres y Reynaud (2005), además de los ya citados para España], o bien estudios nacionales utilizando una pequeña muestra de empresas [entre otros, Renzetti (1988, 1992a), Wang y Lall (2002), Kumar (2006), Ku y Yoo (2012)]. Muy pocos han analizado el uso de agua por el conjunto de la industria de un país [Grebstein y Field (1979), Mitchell *et al.* (2000), Dupont y Renzetti (2001), Renzetti y Dupont (2003), Dachraoui y Harchaoui (2004)].

Algunos trabajos han puesto de manifiesto las diferencias existentes en el uso de agua entre industrias de regiones diferentes [véase Mitchell *et al.* (2000), Wang y Lall (2002), Renzetti y Dupont (2003), Guerrero (2005), Liu *et al.* (2009)]; sin embargo, ningún estudio que conozcamos ha estimado, hasta la fecha, la demanda de agua industrial para diferentes regiones. Del mismo modo, pocos estudios ofrecen resultados detallados por ramas de actividad [entre otros, Babin *et al.* (1982), Renzetti (1988, 1992a, 1993), Féres y Reynaud (2005), Féres *et al.* (2012)]. Esta situación contrasta con la fuerte heterogeneidad existente tanto entre ramas como entre regiones.

La dificultad para obtener datos también repercute en la especificación del modelo. Así, muchos estudios plantean directamente funciones de demanda muy simplificadas, en las que la cantidad depende del precio del agua y de diversos indicadores relacionados con el nivel de actividad, siguiendo la tradición existente en el ámbito de los usos domésticos [por ejemplo, Moeltner y Stoddard (2004), Arbués *et al.* (2010b), Gómez-Ugalde *et al.* (2012)]. No obstante, el enfoque predominante en las últimas décadas se ha basado en la especificación de funciones de demanda derivadas, obtenidas de la correspondiente función de costes y estimadas mediante un enfoque SURE [entre otros, Dupont y Renzetti (2001), Féres y Reynaud (2005), Angulo *et al.* (2014)]. También queremos subrayar la poca atención que se ha prestado al estudio de las propiedades estocásticas de las series,

sobre todo teniendo en cuenta que se está suponiendo implícitamente que, en la función de demanda, la relación entre las variables es de equilibrio a largo plazo. Al respecto, ningún estudio que conozcamos ha realizado, hasta la fecha, un análisis de cointegración en el ámbito del agua para usos industriales y solo unos pocos lo han hecho en el ámbito doméstico [véase Martínez-Espiñeira (2007), Zaied y Binet (2015), Zaied y Cheikh (2015)].

El objetivo de este capítulo es estimar la demanda de agua de red para usos industriales en España, teniendo en cuenta la heterogeneidad existente tanto entre ramas de actividad como entre regiones. En concreto, se va a estimar la demanda de agua para once ramas de actividad industrial y para cuatro tipos de regiones definidas en función de su grado de aridez (regiones húmedas y regiones áridas) y del precio de acceso al recurso (regiones con precios bajos y regiones con precios altos). A partir de la estimación conjunta de la función de costes *translog* y las funciones de participación en costes de los *inputs*, mediante un enfoque SURE, obtenemos la elasticidad precio directa del agua, la elasticidad respecto al *output* y las elasticidades cruzadas de los diferentes *inputs*. Como etapa previa a la estimación de la demanda de agua, analizamos las propiedades estocásticas de las series de datos, mediante diversos test de raíz unitaria y cointegración.

La finalidad última es contribuir al debate sobre el papel de los precios en la gestión de la demanda de agua de la industria y al mejor conocimiento de los otros factores que influyen en esa demanda, así como incorporar a este ámbito de estudio las mejores prácticas en el proceso de estimación. Los resultados cobran especial relevancia tanto por la falta de estudios de amplitud y detalle equivalentes, como por referirse a un país que ilustra perfectamente los graves problemas de escasez de agua a los que se enfrentan cada vez más zonas del planeta.

Tras esta introducción, la Sección 2.2 presenta y analiza los datos empleados. La Sección 2.3 describe el modelo y las técnicas de estimación econométrica usadas. Los resultados se muestran en la Sección 2.4 y las conclusiones se encuentran en la Sección 2.5.

2.2 Datos

La principal fuente de información de este estudio es la “Encuesta Industrial de empresa” (EIAE), elaborada anualmente por el INE desde 1993 [INE (2015a)], completada con otras fuentes estadísticas. Esta encuesta se refiere al conjunto de empresas cuya actividad principal tiene lugar en el sector industrial y están ubicadas en el territorio nacional. El objetivo de la encuesta es proporcionar información básica para el conocimiento de la realidad industrial. En concreto, los datos utilizados en este estudio provienen de una explotación *ad hoc* solicitada al INE sobre los principales resultados de esta encuesta, desagregados sectorial y geográficamente.

Disponemos de un panel de datos agregados por ramas de actividad industrial (11 ramas de actividad) y regiones (las 17 comunidades autónomas españolas), para el periodo 1993-2013. En total, contamos con 3.927 observaciones, cada una de las cuales se refiere a una rama de actividad concreta en una comunidad autónoma y año determinado.

En la Tabla 2.2 se proporciona el detalle de las ramas de actividad y comunidades autónomas consideradas, así como su correspondencia con la clasificación NUTS 2 de EUROSTAT, para el caso de las Comunidades Autónomas, y con la Clasificación Nacional de Actividades Económicas (CNAE-2009) [INE (2009)], equivalente a la “International Standard Industrial Classification of All Economic Activities” (ISIC Rev. 4) de las Naciones Unidas, para el caso de las ramas de actividad.

Una restricción importante a considerar es que los datos de que disponemos se refieren únicamente a empresas con más de 20 empleados, debido a que la EIAE sólo informa del gasto en agua para empresas de ese tamaño o superior. Pese a esta limitación, la información que manejamos permite realizar por primera vez un análisis referido al conjunto de toda la mediana y gran industria española, la cual aportaba el 85,61% de la producción y el 72,13% del empleo industrial de España en el promedio del periodo objeto de estudio.

Las variables sobre las que disponemos de información son el valor de la producción y el coste total de producción, así como el precio y la cantidad de los factores productivos agua, capital, trabajo, energía y suministros.

El valor de la producción lo hemos aproximado a través del total de ingresos de explotación, información que procede de la EIAE.

El coste de producción es la suma del coste de todos los factores productivos: agua, trabajo, capital, energía y suministros.

Para especificar el coste del agua hemos empleado la variable “gasto en agua” de la EIAE. El precio del agua lo hemos obtenido de una fuente estadística alternativa, “Indicadores sobre el agua” [INE (2015b)], que ofrecen información sobre el coste unitario total del agua ($\text{€}/\text{m}^3$) por comunidades autónomas para el periodo 1996-2013. Este coste unitario es el cociente de los ingresos obtenidos por la prestación del servicio de abastecimiento y saneamiento (incluyendo todos los conceptos que figuran en un recibo estándar de agua) y el volumen total del agua registrada y distribuida al conjunto de usuarios conectados a la red pública de suministro (hogares, industria y servicios). Esta información se ha completado para el periodo 1993-1995 generando estimaciones a partir de la misma serie temporal. Por tanto, especificamos el precio del agua a través de su precio medio, ya que no es posible conocer el precio marginal. Finalmente, hemos calculado la cantidad consumida de agua como el cociente entre el coste del agua y su precio.

El coste del factor trabajo lo hemos obtenido a partir de los gastos de personal. La cantidad de trabajo es el número de horas trabajadas en el año por el personal remunerado. El precio del trabajo lo calculamos como el cociente entre los gastos del personal y el número de horas trabajadas. Esta información proviene de la EIAE.

El coste del capital lo hemos aproximado a través del total de dotaciones para amortización del inmovilizado. Esta información se encuentra detallada en la EIAE para el periodo 1993-2007. Para el resto del periodo (2008-2013), los datos los hemos obtenido

Tabla 2.2: Detalle sectorial y regional de los datos de estudio

Rama de actividad	Código CNAE-2009/ ISIC Rev. 4	Definición
1	01-09	Industrias extractivas, energía, agua y residuos
2	10, 11, 12	Alimentación, bebidas y tabaco
3	13, 14, 15	Textil, confección, cuero y calzado
4	16, 17, 18	Madera y corcho, papel y artes gráficas
5	19, 20, 21	Industria química y farmacéutica
6	22, 23	Caucho y materias plásticas y productos minerales no metálicos diversos
7	24, 25	Metalurgia y fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipo
8	26, 27	Material y equipo eléctrico, electrónico y óptico
9	28	Maquinaria y equipo mecánico
10	29, 30	Material de transporte
11	31, 32, 33	Industrias manufactureras diversas, reparación e instalación de maquinaria y equipo

Comunidad autónoma	Clasificación NUTS 2	Denominación
1	ES61	Andalucía
2	ES24	Aragón
3	ES12	Principado de Asturias
4	ES53	Illes Balears
5	ES70	Canarias
6	ES13	Cantabria
7	ES41	Castilla y León
8	ES42	Castilla- La Mancha
9	ES51	Cataluña
10	ES52	Comunitat Valenciana
11	ES43	Extremadura
12	ES11	Galicia
13	ES30	Comunidad de Madrid
14	ES62	Región de Murcia
15	ES22	Comunidad Foral de Navarra
16	ES21	País Vasco
17	ES23	La Rioja

como un porcentaje determinado del total de gastos de explotación (que incluye, además de las dotaciones para la amortización del inmovilizado, el gasto en suministros y otras partidas de gasto). Este porcentaje lo hemos fijado en función del peso que suponen las

dotaciones para amortización del inmovilizado sobre el total de gastos de explotación durante el periodo 1993-2007.

La cantidad de capital la hemos medido a través del stock de capital productivo. Esta información proviene de la base de datos “El stock y los servicios del capital en España y su distribución territorial en el periodo 1964-2013”, elaborada por la Fundación BBVA y el Instituto Valenciano de Investigaciones Económicas (Ivie) [Fundación BBVA e Ivie (2015)]. Esta base de datos ofrece estimaciones, entre otras variables, del stock de capital de la economía española desagregada por ramas de actividad y comunidades autónomas. El precio del capital lo hemos medido a través del tipo de interés de las obligaciones simples a más de dos años en el mercado secundario de renta fija, información que es ofrecida por el Banco de España a nivel nacional [Banco de España (2016)].

El coste de la energía lo hemos calculado como la suma del gasto en gas, electricidad y otros combustibles y carburantes, según la EIAE. El precio de la energía se calcula como la media de los precios nacionales del gas, electricidad, gasóleo y fuel, ponderada en función del gasto que representa cada uno de estos productos energéticos en cada rama de actividad de cada comunidad autónoma. Los datos sobre el precio del gas y la electricidad en España provienen de las estadísticas de energía de EUROSTAT [Eurostat (2016)], mientras que los precios del gasóleo y del fuel provienen del “Oil Bulletin”, elaborado por el Directorio General para la Energía de la Comisión Europea [European Commission (2016)]. La cantidad empleada de energía la calculamos como el cociente entre el coste de la energía y su precio.

El coste de los suministros lo hemos obtenido de la suma del total de compras y trabajos realizados, servicios exteriores (sin incluir el gasto en agua, gas, electricidad y otros combustibles y carburantes) y resto de gastos de explotación (excluyendo las dotaciones para amortización del inmovilizado). Estos datos provienen de la EIAE. Dado que el coste en suministros incluye factores productivos muy heterogéneos, su precio lo tratamos como inobservable [Angulo *et al.* (2014)].

Todas las magnitudes monetarias las hemos expresado en términos reales, empleando los deflatores implícitos obtenidos de la Contabilidad Regional de España [INE (2016)]. Al valor de la producción se le ha aplicado el deflactor correspondiente a cada rama de actividad en cada comunidad autónoma, mientras que al coste de los *inputs* se le ha aplicado el deflactor del conjunto de la economía española.

En la Tabla 2.3 presentamos la distribución sectorial y regional de la industria española de 20 o más trabajadores durante el periodo 1993-2013.

Las ramas con un mayor peso son la 1 (industrias extractivas, energía, agua y residuos), la 2 (alimentación, bebidas y tabaco) y la 10 (material de transporte), mientras que las que tienen un menor peso son la 11 (industrias manufactureras diversas, reparación e instalación de maquinaria y equipo), la 3 (textil, confección, cuero y calzado) y la 9 (maquinaria y equipo mecánico); tanto para el conjunto del periodo como en el año inicial y final. Las comunidades autónomas con una mayor participación en la producción son la

9 (Cataluña), la 13 (Madrid) y la 1 (Andalucía), mientras que las que tienen un menor peso son la 4 (Balears), la 11 (Extremadura) y la 17 (La Rioja); tanto para el conjunto del periodo como en el año inicial y final, aunque en el año 2013 el País Vasco (16) toma el relevo a Madrid (13).

Tabla 2.3: Estructura sectorial y regional de la industria española de 20 o más trabajadores

	Promedio periodo 1993-2013	1993	2013	Δ 2013/1993 (%)
Producción (miles de millones €)	460	278	4950	78,06
Distribución por ramas (%):				
Rama 1	19,40	14,32	29,70	107,33
Rama 2	16,81	21,32	18,06	-15,29
Rama 3	3,41	5,15	1,91	-62,98
Rama 4	5,82	6,81	3,66	-46,32
Rama 5	9,71	10,42	10,32	-0,93
Rama 6	8,34	8,03	5,86	-27,02
Rama 7	10,53	8,43	9,43	11,89
Rama 8	5,55	6,30	3,29	-47,70
Rama 9	4,22	3,98	3,03	-23,80
Rama 10	13,93	13,00	12,81	-1,46
Rama 11	2,28	2,24	1,94	13,76
Distribución por comunidades autónomas (%):				
CCAA 1	10,47	9,78	12,59	28,67
CCAA 2	4,44	4,35	4,38	0,75
CCAA 3	2,55	2,79	2,44	-12,28
CCAA 4	0,62	0,56	0,55	-0,97
CCAA 5	1,53	1,62	1,42	-12,05
CCAA 6	1,51	1,72	1,37	-20,27
CCAA 7	6,12	6,47	6,16	-4,81
CCAA 8	4,03	3,32	4,42	33,17
CCAA 9	24,60	25,75	23,23	-9,77
CCAA 10	9,66	9,17	9,56	4,20
CCAA 11	0,77	0,57	0,97	69,31
CCAA 12	6,25	6,04	6,73	11,35
CCAA 13	11,49	13,74	9,01	-34,41
CCAA 14	2,52	1,97	3,78	92,21
CCAA 15	3,09	2,66	2,99	12,40
CCAA 16	9,42	8,56	9,45	10,46
CCAA 17	0,93	0,93	0,93	0,26

Nota: Los valores en € están expresados a precios de 2013.

La Tabla 2.4 muestra la participación en costes, los precios y las cantidades consumidas de cada *input* para el conjunto de la industria española de 20 o más trabajadores durante el periodo 1993-2013. Destaca la reducida participación en costes del agua, que además ha ido reduciéndose a lo largo del periodo, al mismo tiempo que aumentaba su precio en un 123 %, muy por encima del resto de factores. El consumo de agua, que as-

ciende en promedio anual a 254 millones de m³, ha disminuido un -38 % a lo largo del periodo, mientras que el consumo de capital y energía incrementaba en más de un 50 %.

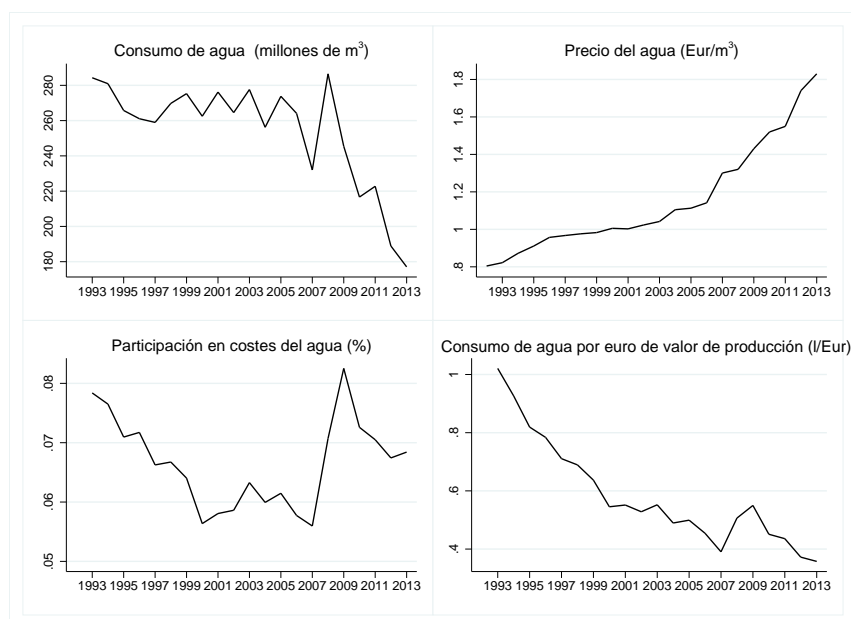
Tabla 2.4: Costes, precios y consumos de *inputs* en la industria española de 20 o más trabajadores

	Promedio periodo 1993-2013	1993	2013	Δ 2013/1993 (%)
Coste de producción (miles de millones €)	441	298	474	59,06
Participación en coste (%)				
Agua	0,07	0,08	0,07	-12,71
Capital	4,61	5,38	4,52	-15,98
Trabajo	15,23	21,89	12,12	-44,62
Energía	2,09	2,15	2,51	16,78
Suministros	78,00	70,50	80,78	14,58
Precio				
Agua (€/m ³)	1,16	0,82	1,83	122,61
Capital (%)	7,61	18,31	3,91	-78,64
Trabajo (€/hora de trabajo)	22,67	23,70	24,57	3,70
Energía (€/Kwh)	0,05	0,05	0,07	36,24
Cantidad				
Agua (millones m ³)	254,31	284,31	177,09	-37,71
Capital (miles de millones €)	339	267	421	57,68
Trabajo (millones horas)	2.909,07	2.754,91	2.337,05	-15,17
Energía (millones Kwh)	181	110	169	53,64

Nota: Los valores en € están expresados a precios de 2013.

En la Figura 2.1 mostramos la evolución de una serie de indicadores clave relacionados con el uso del agua durante el periodo analizado.

Figura 2.1: Evolución de las principales magnitudes relacionadas con el uso de agua en la industria española de 20 o más trabajadores



El consumo de agua siguió una tendencia claramente decreciente durante los cinco primeros años y se hizo plana en los nueve siguientes a pesar de las oscilaciones inter-
anuales. El comportamiento de los años 2007 y 2008 es claramente atípico, con una fuerte
reducción seguida de un aumento aún más intenso. A partir de ese último año, coinci-
diendo con la grave crisis sufrida por la economía española, se observa una tendencia
fuertemente decreciente. El balance para el conjunto del periodo, como ya se señaló en
la Tabla 2.4, es una intensa reducción (-38 %). Por el contrario, el precio del agua expe-
rimentó un continuo incremento durante todo el periodo (123 %), especialmente intenso
desde 2007.

La participación en costes del factor agua presenta fuertes contrastes en su compor-
tamiento a lo largo del periodo. La tendencia hasta el año 2000 es decreciente y entre
2001 y 2007 plana. En 2008 y 2009 se observa un crecimiento excepcional, que sitúa la
participación en costes por encima del nivel de partida de la serie. Los años finales son,
de nuevo, de reducción, determinando el balance del periodo (-13 %).

En cuanto al consumo de agua por euro de valor de producción, se ha ido reduciendo
constantemente a lo largo del periodo, con excepción de los años 2008 y 2009, pasando
de 1,02 l/€ en 1993 a 0,36 l/€ en 2013 (una reducción del 65 %). Este descenso fue
especialmente intenso en los primeros años, hasta 2000 (-47 %).

Tabla 2.5: Análisis de la varianza

	Estadístico F	p-valor
Consumo de agua		
CCAA	350,93	0,00
RAMA	460,34	0,00
CCAA#RAMA	51,16	0,00
Precio del agua		
CCAA	427,14	0,00
RAMA	-	-
CCAA#RAMA	-	-
Participación en costes del agua		
CCAA	80,13	0,00
RAMA	266,5	0,00
CCAA#RAMA	19,28	0,00
Consumo de agua por euro de valor de producción		
CCAA	27,91	0,00
RAMA	75,08	0,00
CCAA#RAMA	4,88	0,00

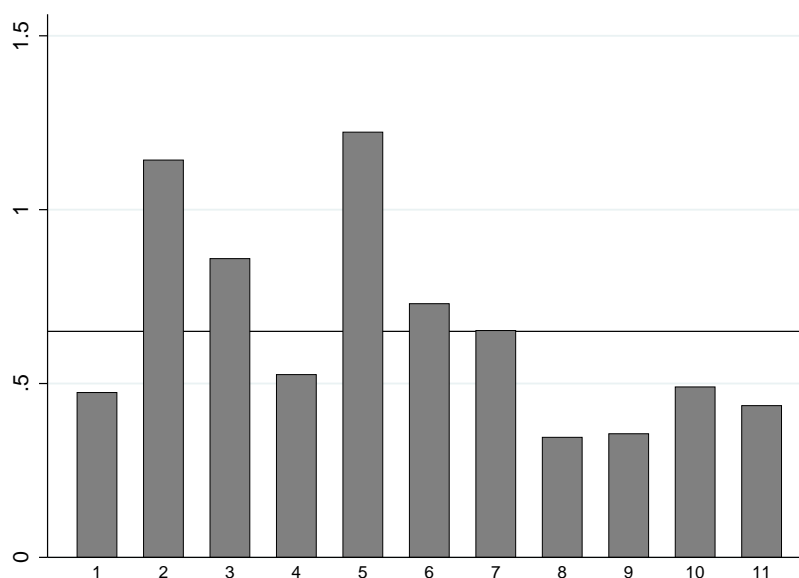
Nota: La variable rama de actividad no se incluye en el análisis de la variable precio del agua, ya que el precio es único en cada comunidad autónoma.

Las empresas que integran la industria española de más de veinte empleados son muy heterogéneas, por lo que es razonable pensar que las magnitudes previamente presentadas enmascararán grandes diferencias, tanto entre ramas de actividad como entre comunidades autónomas. Este supuesto es el que se examina con el análisis de la varianza (ANOVA) de la Tabla 2.5.

Para cada una de las principales variables relacionadas con el uso del agua se observa que la comunidad autónoma y la rama de actividad incorporan rasgos diferenciales, al igual que cuando éstas interactúan entre sí (esta interacción la denominamos en la Tabla 2.5 como CCAA#RAMA). Los resultados confirman que, al estimar la demanda de agua industrial, debemos tener en cuenta la heterogeneidad existente tanto entre comunidades autónomas como entre ramas de actividad.

En la Figura 2.2 se comprueba que las ramas de actividad que más cantidad de agua consumen por euro de valor de producción son la 5 (industria química y farmacéutica), con 1,22 l/€, y la 2 (alimentación, bebidas y tabaco), con 1,14 l/€. Por el contrario, las ramas 8 (material y equipo eléctrico, electrónico y óptico), con 0,34 l/€, y 9 (maquinaria y equipo mecánico), con 0,35 l/€, son las menos intensivas en este recurso.

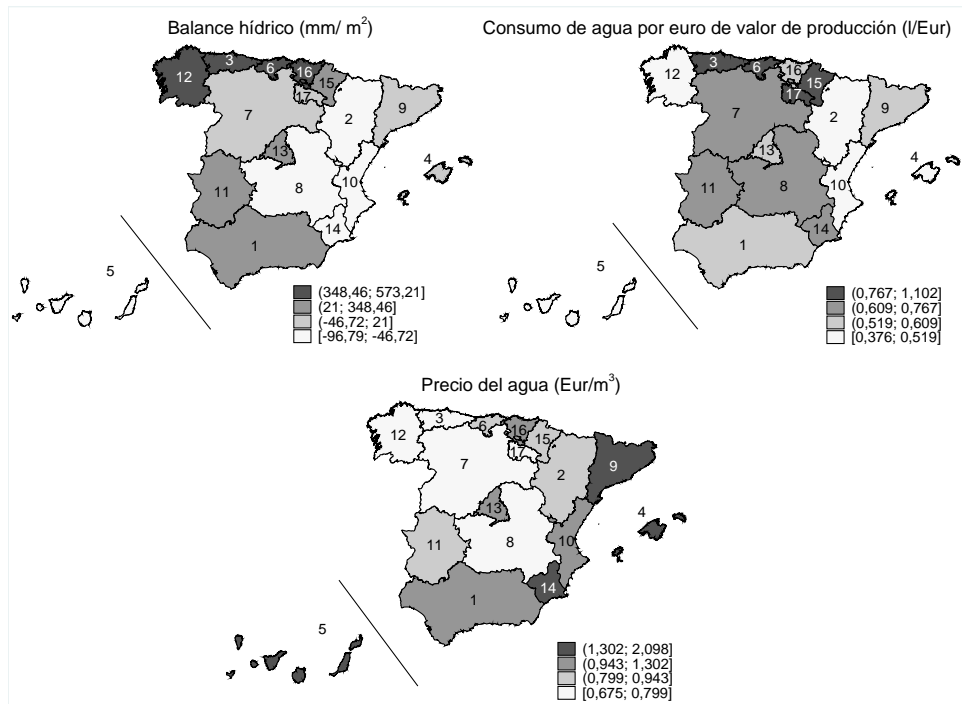
Figura 2.2: Consumo de agua por euro de valor de producción por ramas de actividad. Promedio para el periodo 1993-2013



La Figura 2.3 se ocupa de la estructura territorial del consumo de agua para el caso español, mostrando el balance hídrico (precipitaciones menos evapotranspiración), el consumo de agua por euro de valor de producción y el precio del agua para las 17 comunidades autónomas. Las regiones con un balance hídrico más positivo están localizadas en el noroeste (Galicia, Asturias, Cantabria y País Vasco), mientras que las regiones con un balance hídrico más negativo son las ubicadas en el centro y este de la península

(Aragón, Comunidad Valenciana, Región de Murcia y Castilla-La Mancha) y en las islas (especialmente, Canarias).

Figura 2.3: Balance hídrico, consumo de agua por euro de valor de producción y precio del agua por comunidades autónomas



Nota: La correspondencia entre la numeración de las comunidades autónomas y su denominación se muestra en la Tabla 2.2. Los datos del balance hídrico se refieren al promedio del periodo 1996-2010 y se han obtenido del Sistema Integrado de Información del Agua [Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2016)]. El resto de magnitudes son el promedio para el periodo 1993-2013.

En general, las regiones con un clima más húmedo realizan un mayor consumo de agua por euro de valor de producción. En concreto, las regiones más consumidoras son Navarra (1,09 l/€), La Rioja (0,97 l/€), Asturias (0,94 l/€) y Cantabria (0,80 l/€); mientras que las menos consumidoras son Baleares (0,37 l/€), Canarias (0,44 l/€), Comunidad Valenciana (0,46 l/€), Galicia (0,51 l/€) y Aragón (0,51 l/€), todas pertenecientes a la España árida. El precio también es más alto en regiones con problemas de escasez; en concreto, las comunidades con un precio medio del agua más elevado son Canarias (2,09 €/m³), Baleares (1,97 €/m³) y Murcia (1,68 €/m³), mientras que las que tiene un precio más bajo son La Rioja (0,67 €/m³), Castilla y León (0,75 €/m³) y Galicia (0,79 €/m³).

Por tanto, parece observarse una relación positiva entre consumo de agua y abundancia del recurso y negativa entre estas dos variables y el precio del agua.

Debido a la falta de suficientes grados de libertad al estimar la demanda de agua para cada comunidad autónoma, clasificamos las 17 comunidades autónomas según el grado de aridez (regiones húmedas y regiones áridas) y según el precio del agua (regiones con precios bajos y regiones con precios altos). En ambos casos, se ha efectuado la división en el percentil 50. La Tabla 2.6 muestra la composición de ambos grupos de regiones.

Tabla 2.6: Clasificación de las comunidades autónomas según el grado de aridez y el precio del agua

	Comunidades autónomas
Según el grado de aridez:	
Regiones húmedas	Galicia, Cantabria, País Vasco, Principado de Asturias, Comunidad de Madrid, Comunidad Foral de Navarra, Andalucía, Extremadura
Regiones áridas	Aragón, Comunidad Valenciana, Región de Murcia, Canarias, Castilla-La Mancha, La Rioja, Castilla y León, Cataluña, Baleares
Según el precio del agua:	
Regiones con precios bajos	La Rioja, Castilla y León, Galicia, Principado de Asturias, Castilla-La Mancha, Cantabria, Extremadura, Comunidad Foral de Navarra
Regiones con precios altos	Canarias, Baleares, Región de Murcia, Cataluña, Comunidad Valenciana, Comunidad de Madrid, País Vasco, Andalucía, Aragón

2.3 Especificación y estimación del modelo

Nuestro modelo parte de una función de producción tipo *translog* en la que participan los *inputs* agua (W), capital (K), trabajo (L), energía (E) y suministros (S). La elección de la función *translog* se debe a sus buenas propiedades: es parsimoniosa, flexible y permite trabajar con tecnología multi-producto [Reynaud (2003)]; además, la función de costes asociada es homogénea en precios [Christensen *et al.* (1971, 1973)]. Para el caso que nos ocupa, la función de costes tiene la siguiente estructura:

$$\begin{aligned} \ln G = & \alpha + \alpha_Y \ln Y + \sum_{i=1}^5 \alpha_i \ln p_i + \frac{1}{2} \alpha_{YY} (\ln Y)^2 \\ & + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 \alpha_{ij} \ln p_i \ln p_j + \sum_{i=1}^5 \alpha_{Yi} \ln Y \ln p_i \end{aligned} \quad (2.1)$$

con $i, j = W, K, L, E, S$ y donde G es el coste total de producción, Y es el *output*, y p_i son los precios de los diferentes *inputs*.

Aplicando el lema de Shephard se obtienen las funciones de demanda de *inputs* minimizadoras de costes o funciones de participación en costes de cada *input*:

$$\frac{\partial \ln G}{\partial \ln p_i} = w_i = \alpha_i + \alpha_{Yi} \ln Y + \sum_{j=1}^5 \alpha_{ij} \ln p_j \quad (2.2)$$

siendo $i = W, K, L, E, S$.

La función de costes debe cumplir las hipótesis de simetría en precios y homogeneidad de grado 1 en precios y *output*, lo que implica imponer las siguientes restricciones a los parámetros de las ecuaciones (2.1) y (2.2):

$$\alpha_{ij} = \alpha_{ji}$$

$$\sum_{i=1}^5 \alpha_i = 1; \sum_{i=1}^5 \alpha_{Yi} = 0; \sum_{j=1}^5 \alpha_{ij} = 0; \sum_{i=1}^5 \alpha_{ij} = 0 \quad (2.3)$$

con $i, j = W, K, L, E, S$.

En la literatura de aplicación no hay un consenso sobre si es más conveniente estimar la función de costes o las funciones de participación en coste de cada *input* aunque, de acuerdo a Guilkey y Lovell (1980), el procedimiento más eficiente consiste en estimar conjuntamente ambas funciones con un modelo SURE. Este planteamiento ha sido ampliamente usado en la literatura [Greibenstein y Field (1979), Babin *et al.* (1982), Dupont y Renzetti (2001), Renzetti y Dupont (2003), Dachraoui y Harchaoui (2004), Féres y Reynaud (2005), Guerrero (2005), Linz y Tsegai (2009), Angulo *et al.* (2014)] y es el que nosotros también vamos a seguir.

Tras estimar el sistema de ecuaciones de (2.1) y (2.2), resulta inmediato calcular la elasticidad precio directa (ε_{ii}) de cada *input* como:

$$\varepsilon_{ii} = \frac{\alpha_{ii} + w_i^2 - w_i}{w_i} \quad (2.4)$$

También es posible analizar la relación de sustituibilidad o complementariedad entre los diferentes *inputs* a través de la Elasticidad de Sustitución de Morishima (M_{ij} y M_{ji}), definida como:

$$M_{ij} = \varepsilon_{ji} - \varepsilon_{ii}$$

$$M_{ji} = \varepsilon_{ij} - \varepsilon_{jj} \quad (2.5)$$

siendo:

$$\varepsilon_{ii} = \frac{\alpha_{jj} + w_j^2 - w_j}{w_j}$$

$$\varepsilon_{ij} = \frac{\alpha_{ij} + w_i w_j}{w_i}$$

$$\varepsilon_{ji} = \frac{\alpha_{ji} + w_i w_j}{w_j}$$

Por último, la elasticidad de la demanda de un factor i respecto del *output* (μ_{iY}) se calcula de la forma usual:

$$\mu_{iY} = \frac{\partial Q_i}{\partial Y} \cdot \frac{Y}{Q_i} = \frac{\alpha_{Yi}}{w_i} + \eta_Y \quad (2.6)$$

donde η_Y representa la elasticidad del coste con respecto al *output*.

En un modelo como el que estamos planteando se asume implícitamente que la relación entre las variables es de equilibrio a largo plazo, lo que significa que deben estar cointegradas. Como es bien sabido, se dice que dos series estén cointegradas si, siendo no estacionarias (I(1) o superior), mantienen una relación estable a largo plazo. El requisito de cointegración es importante para evitar casos de relaciones espurias [Engle y Granger (1987)].

Dada la trascendencia de este problema para justificar todo el trabajo posterior, iniciamos la aplicación analizando la naturaleza estocástica de las variables mediante una batería de contrastes de raíz unitaria y de cointegración. Los datos que utilizamos son de tipo panel, por lo que los test deberán ser los adecuados a este hecho. La excepción son los precios del capital ($\ln P_K$) y de la energía ($\ln P_{gas}$, $\ln P_{electricidad}$, $\ln P_{gasoleo}$, $\ln P_{fuel}$), que al ser precios de referencia nacionales, se convierten en series temporales univariantes para las que usaremos los contrastes de raíz unitaria tradicionales.

En concreto, empleamos los test de raíz unitaria para panel de Levin-Lin-Chu (LLC) [Levin *et al.* (2002)], de Im-Persan-Shin (IPS) [Im *et al.* (2003)], de Fisher [Choi (2001)] y de Hadri (2000). En todos los casos, la ecuación de contraste incluye término constante y tendencia y se sustraen las medias de la sección cruzada para hacerlos más robustos a los (posibles) problemas de dependencia transversal.

Los test de raíz unitaria para series temporales que empleamos son el Dickey-Fuller aumentado (ADF) [Dickey y Fuller (1979)], el de Phillips-Perron (PP) [Phillips y Perron (1988)] y el Dickey-Fuller GLS (DFGLS), que modifica el test de Dickey-Fuller transformando las series mediante una regresión de mínimos cuadrados generalizados [Elliott *et al.* (1996)]. En estos test se incluye también término constante y tendencia.

En la Tabla 2.7 se muestran los resultados para el agregado (conjunto de la mediana y gran industria española). Pese a la existencia de algunas contradicciones, en general, los test para las variables en niveles no permiten rechazar la hipótesis nula de raíz unitaria. Por el contrario, los test para las primeras diferencias rechazan la hipótesis de raíz unitaria. Por tanto, podemos concluir que todas las variables analizadas son integradas de orden uno. El detalle de estos contrastes por ramas de actividad y por comunidades autónomas, se encuentra en las Tablas A.1 y A.2 del Apéndice A. Nuevamente, los resultados confirman, en términos generales, que este conjunto de variables son I(1).

Los contrastes de raíz unitaria para datos panel anteriores, también conocidos como de primera generación, presentan problemas de potencia cuando existen relaciones de correlación transversal entre los paneles. Este es el problema que tratan de corregir los

Tabla 2.7: Test de raíz unitaria

Variables de panel	LLC	IPS	Fisher				HADRI	Conclusión
			P	Z	L	Pm		
	H ₀ : todos los paneles contienen raíz unitaria H ₁ : los paneles son estacionarios	H ₀ : todos los paneles contienen raíz unitaria H ₁ : algunos paneles son estacionarios	H ₀ : todos los paneles contienen raíz unitaria H ₁ : al menos un panel es estacionario				H ₀ : todos los paneles son estacionarios H ₁ : algún panel contiene raíz unitaria	
ln Y	0,05	0,00	0,17	0,99	0,99	0,17	0,00	I(1)
Δ ln Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	
ln Q _W	0,12	0,46	0,94	0,94	0,92	0,93	0,00	I(1)
Δ ln Q _W	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	
ln Q _K	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	I(1)
Δ ln Q _K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	
ln Q _L	0,22	0,00	0,91	1,00	1,00	0,91	0,00	I(1)
Δ ln Q _L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	
ln Q _E	0,45	0,84	0,89	1,00	1,00	0,88	0,00	I(1)
Δ ln Q _E	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	
ln G	0,00	0,00	0,27	1,00	1,00	0,27	0,00	I(1)
Δ ln G	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,92	
ln P _W	0,19	0,04	0,58	0,87	0,85	0,61	0,00	I(1)
Δ ln P _W	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	
ln P _L	0,09	0,40	0,02	0,97	0,82	0,02	0,00	I(1)
Δ ln P _L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	

Variables de serie temporal	ADF	PP	DFGLS 1 LAG		DFGLS 2 LAG		Conclusión
	H ₀ : la variable contiene una raíz unitaria H ₁ : la variable es estacionaria						
ln P _K	0,65	0,68	-1,75	(-3,50)	-1,11	(-3,28)	I(1)
Δ ln P _K	0,03	0,05	-3,55	(-3,47)	-4,14	(-3,22)	
ln P _{gas}	0,10	0,10	-3,08	(-3,50)	-3,19	(-3,28)	I(1)
Δ ln P _{gas}	0,00	0,00	-3,94	(-3,47)	-2,65	(-3,22)	
ln P _{electricidad}	0,91	0,92	-1,00	(-3,50)	-1,10	(-3,28)	I(1)
Δ ln P _{electricidad}	0,00	0,00	-3,88	(-3,47)	-2,67	(-3,22)	
ln P _{gasoleo}	0,01	0,01	-3,08	(-3,50)	-3,32	(-3,28)	I(1)
Δ ln P _{gasoleo}	0,00	0,00	-3,19	(-3,47)	-3,42	(-3,22)	
ln P _{fuel}	0,07	0,08	-2,89	(-3,50)	-3,67	(-3,28)	I(1)
Δ ln P _{fuel}	0,00	0,00	-2,73	(-3,47)	-3,16	(-3,22)	

Nota: En la tabla se muestra el p-valor, excepto en los test DFGLS 1 LAG y DFGLS 2 LAG donde se muestra el valor del estadístico y, entre paréntesis, el valor crítico al 5 %.

El test de Fisher combina los p-valores usando la inversa de la distribución chi-cuadrado (P), la inversa de la normal (Z), la inversa de las transformaciones logit (L) y una versión modificada de la inversa de la transformación chi-cuadrado (Pm) [ver Choi (2001) para los detalles]. Los test DFGLS 1 LAG y DFGLS 2 LAG toman uno y dos retardos, respectivamente.

denominados contrastes de segunda generación, desarrollando contrastes robustos a correlación transversal. En nuestro caso hemos recurrido al contraste CIPS de Pesaran (2007), al test de Moon y Perron (2004), MP, al test de Choi (2004), CH, y al contraste BNG de Bai y Ng (2004). Los resultados por ramas de actividad se muestran en la Tabla A.3 del Apéndice A. Nuevamente, subsisten algunas contradicciones en esta nueva oleada de resultados, consecuencia del propio funcionamiento de los contrastes y de pequeñas anomalías en los datos, que no nos alejan de la conclusión fundamental: todas las variables de nuestro estudio son $I(1)$, con o sin estructura panel. No hemos podido repetir el análisis de raíz unitaria, agrupando por comunidad autónoma (las unidades de corte transversal en este caso serían las ramas de actividad), por insuficiencia de datos.

Si las series no son estacionarias y por lo tanto carecen de la noción de equilibrio, cabe preguntarse si, conjuntamente, existen restricciones de la suficiente envergadura entre ellas que introduzcan orden y equilibrio en su relación a largo plazo. En este caso, estamos hablando de cointegración, hipótesis que podemos afrontar desde el punto de vista de las ramas de actividad (existe/no existe cointegración entre comunidades) o desde la perspectiva de las comunidades autónomas (existe/no existe cointegración intra comunidades). El contraste que utilizaremos es el de Pedroni (1999, 2001).

La teoría de la dualidad indica que una función de producción se encuentra asociada a una función de costes, y a la inversa. La relación entre ambas es unívoca. Sin embargo, los factores que intervienen en cada caso son diferentes (cantidades en el caso de la función de producción y precios en la función de costes). Los equilibrios no tienen necesariamente el mismo significado en ambos casos, lo cual aconseja realizar el análisis de cointegración de forma separada, considerando bien el ámbito de la función de producción o el de la función de costes asociada.

Los resultados obtenidos para el agregado y por ramas de actividad y comunidades autónomas aparecen en la Tabla 2.8 y son concluyentes. Parece evidente que el supuesto de cointegración no puede rechazarse en ninguno de los casos considerados. Por tanto, la relación entre el valor de la producción y la cantidad de los *inputs* y entre el gasto total y los precios de los *inputs* son de equilibrio a largo plazo, tanto si consideramos el conjunto de la industria nacional, como si realizamos dicho análisis por ramas de actividad o por comunidades autónomas [resultados similares se obtienen con otros contrastes como el de Westerlund (2007)].

Los resultados anteriores corroboran el sentido de la investigación que estamos llevando a cabo. El grupo de variables que hemos seleccionado, individualmente, no son estacionarias pero se encuentran interconectadas por relaciones consistentes de equilibrio a largo plazo, tanto en lo que tiene que ver con el ámbito de la función de producción como en lo que respecta a la función de costes asociada, lo que nos capacita para abordar la segunda parte del análisis en la que vamos a estimar esas relaciones de largo plazo, condensadas en las ecuaciones (2.1) y (2.2).

Como se ha dicho, el sistema de ecuaciones se estimará en el contexto de un modelo SUR que, además, debe asegurar el cumplimiento de las restricciones descritas en (2.3).

Tabla 2.8: Test de cointegración de Pedroni (1999, 2001) para el agregado de la industria y por ramas de actividad y comunidades autónomas

	Función de producción			Función de costes			Conclusión
	rho	t	ADF	rho	t	ADF	
Agregado	-11,98***	-70,91***	-32,09***	2,77***	-46,10***	-15,69***	Cointegración
Rama 1	3,54***	-3,68***	4,49***	7,16***	2,18**	11,24***	Cointegración
Rama 2	2,07**	-5,94***	1,37	7,07***	1,4	5,66***	Cointegración
Rama 3	2,71***	-6,15***	1,97**	7,61***	3,69***	11,92***	Cointegración
Rama 4	2,57***	-8,69***	-0,04	7,13***	1,53	10,95***	Cointegración
Rama 5	2,76***	-4,95***	2,54**	7,39***	2,99***	10,75***	Cointegración
Rama 6	2,68***	-7,34***	0,77	7,66***	4,10***	9,31***	Cointegración
Rama 7	3,31***	-4,14***	4,92***	6,73***	1,26	9,84***	Cointegración
Rama 8	2,82***	-4,80***	6,77***	7,66***	6,23***	12,58***	Cointegración
Rama 9	3,06***	-3,47***	2,40**	6,96***	2,22**	8,84***	Cointegración
Rama 10	3,61***	-3,53***	2,82***	7,22***	2,91***	7,85***	Cointegración
Rama 11	2,93***	-3,53***	7,04***	7,65***	3,50***	11,34***	Cointegración
CCAA 1	3,01***	-2,37**	2,27**	7,28***	7,54***	10,07***	Cointegración
CCAA2	2,62***	-3,10***	6,34***	7,07***	6,83***	7,67***	Cointegración
CCAA 3	2,36**	-3,17***	6,29***	6,60***	5,64***	10,86***	Cointegración
CCAA 4	0,72***	-7,38***	0,09	7,13***	7,39***	11,47***	Cointegración
CCAA 5	1,91*	-5,98***	2,54**	7,29***	8,01***	6,92***	Cointegración
CCAA 6	2,51**	-4,02***	2,36**	6,73**	6,39***	10,14***	Cointegración
CCAA 7	1,88*	-5,41***	4,03***	6,53***	4,98***	10,26***	Cointegración
CCAA 8	2,04**	-4,71***	-3,56***	6,98***	7,14***	10,23***	Cointegración
CCAA 9	2,93***	-1,5	3,49***	7,51***	8,87***	6,54***	Cointegración
CCAA 10	3,24***	-2,43**	1,92*	6,81***	6,50***	9,78***	Cointegración
CCAA 11	3,80***	-0,12	2,43**	7,28***	7,77***	9,42***	Cointegración
CCAA 12	2,66***	-1,66*	3,48***	6,68***	6,01***	9,07***	Cointegración
CCAA 13	2,83***	-2,08**	2,70***	7,26***	7,86***	9,04***	Cointegración
CCAA 14	1,62	-7,57***	2,58***	6,15***	3,88***	8,78***	Cointegración
CCAA 15	2,91***	-1,05	2,13**	6,95***	6,74***	9,03***	Cointegración
CCAA 16	2,81***	-3,62***	1,65*	6,68***	5,40***	8,02***	Cointegración
CCAA 17	1,29	-8,96***	2,57***	6,31***	3,59***	11,88***	Cointegración

Nota: En la tabla se muestra el valor del estadístico, que se distribuye como una normal. *, ** y *** indican significatividad al 10%, 5% y 1%, respectivamente.

En todos los test realizados, las hipótesis nula y alternativa son las siguientes: H_0 : no cointegración; H_1 : cointegración. Rho, t y ADF significa que el test se ha realizado empleando los estadísticos ρ , t y Dickey-Fuller aumentado, respectivamente.

Función de producción se refiere a la hipotética relación de cointegración existente entre las variables $\ln Y$, $\ln Q_W$, $\ln Q_K$, $\ln Q_E$, $\ln Q_L$; función de costes se refiere a la relación de cointegración entre las variables $\ln G$, $\ln P_W$, $\ln P_K$, $\ln P_L$, $\ln P_{gas}$, $\ln P_{electricidad}$, $\ln P_{gasoleo}$, $\ln P_{fuel}$.

Los resultados de todo el proceso se muestran en la Tabla 2.9. El precio del agua se ha retardado un periodo para evitar problemas de endogeneidad, tal como hacen Dachraoui y Harchaoui (2004) y Angulo *et al.* (2014).

Tabla 2.9: Estimación SUR del modelo *translog*

	$\ln G$	W_W	W_K	W_L	W_E
α	-0,04031 (0,04)	0,00109 (0,00)	0,03473 (0,00)	0,01010 (0,00)	0,00421 (0,00)
Trend	0,00722 (0,01)	-0,00016 (0,00)	-0,00534 (0,00)	-0,00271 (0,00)	0,00064 (0,00)
$\ln Y$	0,99053 (0,00)	0,00002 (0,31)	-0,00244 (0,00)	-0,01540 (0,00)	-0,00200 (0,00)
$(\ln Y)^2$	0,00232 (0,00)				
$\ln P_W$	0,00109 (0,00)	0,00022 (0,00)	-0,00238 (0,01)	-0,00010 (0,43)	-0,00004 (0,67)
$\ln P_K$	0,03473 (0,00)	-0,00238 (0,01)	-0,08270 (0,00)	0,02203 (0,00)	0,00294 (0,06)
$\ln P_L$	0,01010 (0,00)	-0,00010 (0,43)	0,02203 (0,00)	0,10807 (0,00)	0,00861 (0,00)
$\ln P_E$	0,00421 (0,00)	-0,00004 (0,67)	0,00294 (0,06)	0,00861 (0,00)	-0,01173 (0,00)
$\ln P_W \ln P_W$	0,00022 (0,00)				
$\ln P_K \ln P_K$	-0,08270 (0,00)				
$\ln P_L \ln P_L$	0,10807 (0,00)				
$\ln P_E \ln P_E$	-0,01173 (0,00)				
$\ln P_W \ln P_K$	-0,00238 (0,01)				
$\ln P_W \ln P_L$	-0,00010 (0,43)				
$\ln P_W \ln P_E$	-0,00004 (0,67)				
$\ln P_K \ln P_L$	0,02203 (0,00)				
$\ln P_K \ln P_E$	0,00294 (0,06)				
$\ln P_L \ln P_E$	0,00861 (0,00)				
$\ln Y \ln P_W$	0,00002 (0,31)				
$\ln Y \ln P_K$	-0,00244 (0,00)				
$\ln Y \ln P_L$	-0,01540 (0,00)				
$\ln Y \ln P_E$	-0,00200 (0,00)				

Nota: Entre paréntesis se muestra el p-valor.

Con respecto a la estructura panel de los datos, los resultados de los que disponemos nos conducen hacia un modelo de efectos fijos con efectos no observables por rama de actividad y comunidades autónomas. No hemos considerado el caso más general en el que se permite también la interacción entre regiones y ramas de actividad debido a que eso incrementa considerablemente el número de parámetros del modelo, reduciendo drásticamente los grados de libertad, pese a que esta interacción es significativa en el análisis ANOVA de la Tabla 2.5.

Junto a los efectos individuales no observables incluimos también efectos temporales además de una variable puramente tendencial (Trend). La misión de la tendencia es recoger

los efectos del progreso tecnológico en lo que respecta al uso del agua, de forma similar a como se ha venido haciendo en la literatura de aplicación previa [De Rooy (1974), Ziegler y Bell (1984), Dupont y Renzetti (2001), Renzetti y Dupont (2003), Vallés y Zárata (2013), Angulo *et al.* (2014)].

2.4 Resultados y discusión

En la Tabla 2.10 se muestra la elasticidad precio directa de cada factor y la elasticidad estimada de la demanda de agua con respecto al nivel de producción, para el agregado y para cada rama de actividad considerada en el estudio. Estas elasticidades han sido calculadas aplicando las ecuaciones (2.4), (2.5) y (2.6), partiendo de los resultados de la estimación presentados en la Tabla 2.9.

Tabla 2.10: Elasticidades directas y elasticidad *output* para el agregado de la industria y por ramas de actividad

	E_{WW}	E_{KK}	E_{LL}	E_{EE}	E_{SS}	E_{WY}
Agregado	-0,66 (0,00)	-2,75 (0,00)	-0,26 (0,00)	-1,47 (0,00)	-0,16 (0,00)	1,04 (0,00)
Rama 1	-0,26 (0,71)	-3,79 (0,00)	-0,81 (0,00)	-1,72 (0,00)	-0,49 (0,00)	1,13 (0,07)
Rama 2	-1,20 (0,00)	-1,75 (0,00)	-0,30 (0,00)	-1,12 (0,00)	-0,09 (0,00)	1,27 (0,00)
Rama 3	-0,65 (0,47)	-3,80 (0,00)	-0,72 (0,00)	-2,18 (0,00)	-0,49 (0,00)	1,02 (0,06)
Rama 4	-0,63 (0,12)	-2,35 (0,00)	-0,08 (0,32)	-0,63 (0,00)	-0,29 (0,00)	1,37 (0,00)
Rama 5	-0,67 (0,15)	-3,84 (0,00)	0,04 (0,61)	-1,80 (0,00)	-0,37 (0,00)	1,25 (0,00)
Rama 6	-0,80 (0,02)	-0,56 (0,21)	-0,19 (0,00)	-1,43 (0,00)	-0,11 (0,08)	0,87 (0,01)
Rama 7	-0,73 (0,03)	-1,90 (0,00)	-0,06 (0,57)	-1,13 (0,00)	-0,17 (0,00)	0,19 (0,57)
Rama 8	2,38 (0,33)	-1,96 (0,22)	-0,35 (0,00)	-1,62 (0,00)	-0,12 (0,23)	-1,67 (0,21)
Rama 9	-0,82 (0,78)	-0,80 (0,35)	0,23 (0,00)	-2,37 (0,00)	0,07 (0,17)	2,44 (0,16)
Rama 10	-1,28 (0,68)	-1,97 (0,03)	0,35 (0,00)	-1,56 (0,00)	-0,02 (0,76)	1,75 (0,23)
Rama 11	-1,08 (0,10)	-4,29 (0,00)	-0,01 (0,89)	-0,82 (0,00)	-0,24 (0,00)	2,19 (0,00)

Nota: Entre paréntesis se muestra el p-valor.

La elasticidad precio directa del agua es -0,66 para el agregado, por lo que la demanda de agua resulta ser normal e inelástica para el conjunto de la mediana y gran industria española. Este resultado se encuentra en el rango medio de las elasticidades obtenidas en la literatura referida al sector industrial, el cual varía desde valores inferiores a -0,1 [Ziegler y Bell (1984), Canizales y Bravo (2011), Vallés y Zárata (2013)] hasta elasticidades en torno a -1,1 [Féres y Reynaud (2005), Kumar (2006)].

El análisis por ramas de actividad muestra que el precio del agua únicamente tiene un efecto significativo sobre la cantidad de agua demandada en las ramas 2 (alimentación, bebidas y tabaco), 6 (caucho y materias plásticas y productos minerales no metálicos diversos) y 7 (metalurgia y fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipo). En el resto de ramas de actividad, la elasticidad directa del agua no es significativa al estándar habitual del 5%. No obstante, en las ramas 4 (madera y corcho, papel y artes gráficas), 5 (industria química y farmacéutica) y 11 (industrias manufactureras diversas, reparación e instalación de maquinaria y equipo), la significatividad se sitúa entre el 10% y el 15%.

La rama 2 es la única significativa al 5% en la que la demanda de agua resulta ser elástica (-1,20). Este resultado corrobora la evidencia aportada en la literatura, donde alimentación, bebidas y tabaco suele ser una agrupación con una elevada elasticidad [Renzetti (1993), Dupont y Renzetti (1998), Malla y Gopalakrishnan (1999), Guerrero (2005), Canizales y Bravo (2011)]. Debe tenerse en cuenta que se trata de una actividad con un elevado uso de agua por unidad de producción y, consiguientemente, con una alta participación de este factor en la estructura de costes.

La elasticidad obtenida en la rama 6 (-0,80) es elevada en comparación con los resultados de otros estudios, que varían entre -0,15 y -0,78 [Babin *et al.* (1982), Renzetti (1992a, 1993)], mientras que la correspondiente a la rama 7 (-0,73) se encuentra en la parte media del rango de elasticidades publicadas, entre -0,24 y -1,67 [Babin *et al.* (1982), Renzetti (1993), Wang y Lall (2002), Reynaud (2003)].

Con respecto a la elasticidad en la rama 4 (-0,63), nuestros resultados se encuentran en la parte baja de los obtenidos en otros estudios, que varían entre -0,59 y -0,91 [Babin *et al.* (1982), Renzetti (1992a, 1993), Wang y Lall (2002), Reynaud (2003), Kumar (2006)], mientras que la obtenida en la rama 5 (-0,67) se encuentra en la parte media del rango, que varía entre -0,37 y -0,96 [Wang y Lall (2002), Reynaud (2003), Kumar (2006)]. Finalmente, el resultado para la rama 11 (-1,08) es más elevado que las elasticidades obtenidas por los dos únicos estudios que se encargan de esta rama de actividad [-0,78 en el caso de Reynaud (2003) y -0,86 en Kumar (2006)].

Estos resultados indican que en las ramas con menor intensidad en el uso de agua y, por tanto, con menor participación del agua en los costes (véase Figura 2.2), la elasticidad precio directa del agua tiende a no ser significativa, al contrario de lo que sucede en las ramas con mayor consumo. En cuanto al valor de la elasticidad, entre las ramas cuya elasticidad es significativa al 5% se aprecia una ordenación relativamente clara: mayor elasticidad va asociada a una mayor intensidad en el uso de agua.

Para el resto de factores productivos, se obtiene una elasticidad superior a la obtenida para el agua, como ocurre en el caso del capital (-2,75) o de la energía (-1,47), e inferior en el caso del trabajo (-0,26) y los suministros (-0,16). En general, estos resultados son similares a los obtenidos por la literatura, si bien un poco más elevados en el caso del capital y la energía. El análisis por ramas de actividad muestra que, en general, todos los *inputs* tienen una elasticidad directa negativa y significativa.

La elasticidad de la demanda de agua con respecto al nivel de producción es de 1,04 para el agregado, por lo que el volumen de agua necesario variará (casi) proporcionalmente con su producción. Este resultado se encuentra en la parte alta del rango de elasticidades obtenidas en la literatura. En la mayoría de las ramas, esa elasticidad es significativa variando entre 0,87 (rama 6) y 2,19 (rama 11); la excepción son las ramas 7, 8, 9 y 10, caracterizadas por la baja participación del agua en los costes.

En la Tabla 2.11 se presentan las elasticidades de Morishima entre el factor agua y el resto de *inputs* para el agregado y por ramas de actividad (en la Tabla A.4 del Apéndice A se muestra esta relación también para los *inputs* no hídricos). Si consideramos el conjunto de la mediana y gran industria española, todos los *inputs* son sustitutivos, exceptuando que el precio del agua no afecta significativamente a la demanda de capital. La relación de sustituibilidad entre factores productivos está en la línea de los resultados publicados en la literatura.

El análisis por ramas de actividad revela que, en muchos casos, el precio del capital, del trabajo y de los suministros no afecta significativamente al volumen de agua demandado. De igual modo, en muchos casos, el precio del agua tampoco afecta significativamente a la cantidad demandada de los otros *inputs*. El precio de la energía es un factor determinante de la demanda de agua en todas las ramas de actividad; sin embargo, la relación no es simétrica ya que, en general, el precio del agua parece ser menos relevante en lo que respecta a la demanda de energía. Esta relación entre energía y agua está en línea con los resultados obtenidos por Dupont y Renzetti (2001) y Féres y Reynaud (2005), los dos únicos estudios que la han analizado con anterioridad.

A nuestro parecer, la fuerte relación de sustituibilidad entre el agua y la energía se debe a dos motivos. En primer lugar, aquellas empresas con capacidad para utilizar fuentes alternativas al suministro de red (autosuministro o reutilización), pueden sustituir agua de red por otro *input* hídrico. Habitualmente, la utilización de estas fuentes alternativas lleva asociado el uso de energía para el bombeo de agua, ya sea para la captación propia de agua de pozos o para posibilitar su reutilización por la propia empresa. En tal caso, se estará sustituyendo agua de red por energía en la función de producción. En segundo lugar, el ahorro de agua por parte de las empresas se logra en muchos casos mediante la sustitución de procesos tradicionales, altamente consumidores de agua, por procesos mecanizados, que requieren un menor uso de este recurso pero conllevan un mayor consumo energético.

Tabla 2.11: Elasticidades de Morishima entre el factor agua y el resto de *inputs* para el agregado de la industria y por ramas de actividad

	M_{KW}	M_{LW}	M_{EW}	M_{SW}	M_{WK}	M_{WL}	M_{WE}	M_{WS}
Agregado	-0,90 (0,53)	0,27 (0,00)	0,82 (0,00)	0,66 (0,00)	0,61 (0,00)	0,20 (0,00)	1,53 (0,00)	1,43 (0,00)
Rama 1	5,17 (0,44)	0,85 (0,00)	0,80 (0,01)	0,29 (0,68)	0,27 (0,70)	0,79 (0,01)	1,72 (0,00)	2,45 (0,01)
Rama 2	6,81 (0,00)	0,33 (0,00)	0,43 (0,00)	1,25 (0,00)	1,36 (0,00)	0,29 (0,00)	1,14 (0,00)	1,92 (0,00)
Rama 3	-2,35 (0,48)	0,96 (0,00)	0,84 (0,00)	0,66 (0,47)	0,48 (0,59)	1,18 (0,00)	2,19 (0,00)	2,31 (0,06)
Rama 4	-2,04 (0,54)	0,11 (0,25)	-0,31 (0,10)	0,63 (0,12)	0,59 (0,15)	0,40 (0,00)	0,56 (0,00)	0,34 (0,67)
Rama 5	5,30 (0,11)	-0,06 (0,55)	0,38 (0,01)	0,63 (0,17)	0,70 (0,14)	0,27 (0,14)	1,90 (0,00)	0,71 (0,20)
Rama 6	-3,89 (0,17)	0,21 (0,02)	0,41 (0,00)	0,80 (0,02)	0,74 (0,03)	0,18 (0,23)	1,49 (0,00)	1,27 (0,08)
Rama 7	-0,50 (0,85)	0,08 (0,57)	-0,23 (0,34)	0,73 (0,03)	0,69 (0,04)	0,23 (0,18)	1,08 (0,00)	1,48 (0,03)
Rama 8	-100,02 (0,00)	0,38 (0,00)	0,12 (0,54)	-2,29 (0,34)	-3,22 (0,19)	0,20 (0,21)	1,61 (0,00)	4,32 (0,10)
Rama 9	16,24 (0,03)	-0,33 (0,00)	-0,39 (0,28)	0,86 (0,78)	0,96 (0,75)	-0,36 (0,00)	2,37 (0,00)	3,60 (0,23)
Rama 10	-25,71 (0,00)	-0,46 (0,00)	0,26 (0,44)	1,52 (0,63)	0,95 (0,76)	-0,42 (0,01)	1,59 (0,00)	6,51 (0,00)
Rama 11	10,81 (0,01)	0,01 (0,94)	0,10 (0,61)	1,05 (0,11)	1,16 (0,08)	0,23 (0,16)	0,83 (0,00)	-0,32 (0,81)

Nota: Entre paréntesis se muestra el p-valor.

El análisis por regiones, atendiendo a su grado de aridez (regiones húmedas y áridas) y al precio por el acceso al recurso (regiones con precios bajos y altos), se resume en la Tabla 2.12. En conjunto, esos resultados demuestran que la demanda de agua es normal e inelástica en todos los casos y que la elasticidad varía según el grado de aridez y el nivel de precios.

Parece claro que las regiones más húmedas, y las que tienen un menor precio del agua, tienen una demanda de agua más elástica. Este resultado es razonable puesto que en estas regiones las fuentes alternativas al suministro de red son más accesibles y, por tanto, ante incrementos en el precio del agua de red, los usuarios tendrán más facilidad para responder sustituyendo agua de red por agua autosuministrada. Además, puesto que en estas regiones se suele hacer un uso menos eficiente del recurso, los usuarios disponen de mayor margen para reducir el consumo, mejorando la eficiencia para controlar de esta forma el gasto en agua. Por el contrario, en las regiones áridas, así como en las que

Tabla 2.12: Elasticidades directas y elasticidad *output* por regiones

	E_{WW}	E_{KK}	E_{LL}	E_{EE}	E_{SS}	E_{WY}
Según el grado de aridez						
Regiones húmedas	-0,69 (0,00)	0,21 (0,75)	-0,35 (0,00)	-1,00 (0,00)	0,04 (0,42)	0,98 (0,00)
Regiones áridas	-0,56 (0,00)	-3,88 (0,00)	-0,19 (0,00)	-1,81 (0,00)	-0,25 (0,00)	1,04 (0,00)
Según el precio del agua						
Regiones con precios bajos	-0,75 (0,06)	1,36 (0,09)	-0,26 (0,00)	-1,11 (0,00)	0,13 (0,02)	0,74 (0,00)
Regiones con precios altos	-0,60 (0,03)	-2,77 (0,00)	-0,26 (0,00)	-1,79 (0,00)	-0,21 (0,00)	1,04 (0,00)

Nota: Entre paréntesis se muestra el p-valor.

tienen precios elevados, la elasticidad precio directa es ligeramente inferior. Esto puede deberse a que, en las zonas con climas más secos, el acceso a recursos hídricos alternativos al suministro de red es más difícil y los usuarios suelen hacer un uso más eficiente del recurso por lo que, ante aumentos en el precio, tienen un menor margen de mejora.

Por otra parte, se observa que la elasticidad *output* es superior en las regiones más áridas y con precios más elevados. El razonamiento detrás de este resultado puede ser el mismo que en el caso de la elasticidad precio directa.

Finalmente, en la Tabla 2.13 incluimos las elasticidades de sustitución de Morishima entre el factor agua y el resto de *inputs* por regiones (en la Tabla A.4 del Apéndice A se presentan estas elasticidades para el resto de factores).

Tabla 2.13: Elasticidades de Morishima entre el factor agua y el resto de *inputs* por regiones

	M_{KW}	M_{LW}	M_{EW}	M_{SW}	M_{WK}	M_{WL}	M_{WE}	M_{WS}
Según el grado de aridez								
Regiones húmedas	-3,92 (0,06)	0,49 (0,03)	0,93 (0,00)	4,29 (0,03)	0,64 (0,00)	0,69 (0,00)	0,69 (0,00)	0,70 (0,00)
Regiones áridas	-0,01 (1,00)	0,10 (0,75)	1,76 (0,00)	4,85 (0,01)	0,51 (0,01)	0,56 (0,00)	0,56 (0,00)	0,56 (0,00)
Según el precio del agua								
Regiones con precios bajos	-17,10 (0,00)	1,29 (0,02)	1,07 (0,01)	15,36 (0,00)	0,53 (0,20)	0,75 (0,06)	0,75 (0,06)	0,76 (0,06)
Regiones con precios altos	4,43 (0,04)	-0,07 (0,85)	1,79 (0,00)	-0,51 (0,80)	0,62 (0,03)	0,60 (0,03)	0,60 (0,03)	0,60 (0,03)

Nota: Entre paréntesis se muestra el p-valor.

Los resultados indican que, con carácter general, los *inputs* son sustitutivos, aunque en algunos casos las elasticidades no son significativas. De nuevo, destaca que el agua y la energía son sustitutivos en todos los tipos de regiones.

2.5 Conclusiones

Este capítulo ha analizado los determinantes de la demanda de agua en la industria española, prestando una especial atención a las diferencias sectoriales y regionales.

Los resultados obtenidos para el agregado de la mediana y gran industria española indican que los precios son un instrumento eficaz para incentivar a los usuarios a reducir su consumo de agua y contribuir a la sostenibilidad en el uso del recurso. No obstante, el valor de la elasticidad de la demanda (-0,66) implica que para conseguir una determinada reducción porcentual de la cantidad de agua utilizada se requiere de un incremento porcentual muy superior del precio del agua, lo cual puede disuadir a algunos decisores públicos del uso de este instrumento por el coste político que les puede ocasionar. En contrapartida, este valor de la elasticidad posibilita que el incremento de precios se traduzca en un incremento de los ingresos obtenidos por la prestación del servicio de suministro de agua potable y recogida y tratamiento de aguas residuales, necesario en muchos casos para conseguir la plena recuperación de los costes en el servicio y contribuir, así, al equilibrio de los presupuestos municipales y regionales. La experiencia española en cuanto a la evolución de los precios permite ser optimista, ya que muestra una clara apuesta por la sostenibilidad en el uso del agua y por la recuperación de costes.

El análisis sectorial y regional realizado revela una notable heterogeneidad, ya que las diferentes ramas de actividad y regiones reaccionan con distinta intensidad en lo que respecta al uso de agua frente a las variaciones en su precio.

Por un lado, observamos que en las ramas de actividad en las que el agua tiene una mayor participación en los costes totales la elasticidad de la demanda de agua tiende a ser significativa y su valor crece con dicha participación. Esto implica que la utilización de los precios como instrumento para disminuir el uso de agua en la industria sólo va a ser eficaz en las ramas de actividad con mayor intensidad en el uso de agua, aunque no en todas. Además, esta eficacia va a ir perdiendo fuerza conforme las empresas vayan reduciendo la intensidad de uso, circunstancia que nuestros datos constatan que está sucediendo en el caso de España. De hecho, el modelo que hemos estimado corrobora este resultado, puesto que el coeficiente de la variable tendencia de la ecuación de participación en costes del agua es significativo y tiene signo negativo. Por tanto, la política de precios debería complementarse necesariamente con la utilización de otros instrumentos de gestión de la demanda para conseguir que todas las ramas de actividad contribuyan a la sostenibilidad en el uso del agua y para compensar su pérdida progresiva de eficacia.

Por otro lado, los resultados desagregados por regiones nos muestran que, en las regiones más húmedas, al igual que las que tienen precios del agua más bajos, los incrementos en el precio se traducen en mayores reducciones de la demanda de agua de red,

probablemente por la sustitución de este tipo de agua por otras fuentes alternativas de suministro y por el aprovechamiento del margen de mejora en la eficiencia de su uso. Por el contrario, en las regiones áridas, así como en las que tienen precios más altos, aunque el incremento del precio surte efecto, la reducción obtenida en el uso de agua es menor. Este resultado es, en cierto modo, preocupante ya que muestra que allí donde es más necesario reducir el uso de agua, los precios son menos eficaces para lograrlo. Por tanto, en un contexto de creciente escasez de agua, debido al cambio climático, y precios cada vez más elevados es necesario potenciar el uso de otros instrumentos para contribuir a la sostenibilidad del sistema.

La política de precios del agua no sólo afecta al consumo de agua, sino que también condiciona el uso de los otros factores productivos, especialmente del *input* energía (elasticidad de 0,82). Así, el incremento en el precio del agua lleva a las empresas a sustituir agua por energía como consecuencia del uso de fuentes alternativas al agua de red o por la introducción de procesos más mecanizados. Esto constituye un serio problema desde el punto de vista de la sostenibilidad ambiental, ya que el cambio climático está directamente vinculado al consumo de energía. Por tanto, decisores públicos deberían prestar atención a cómo las políticas dirigidas a reducir el uso de agua de red pueden afectar al consumo de energía y adoptar medidas para favorecer que la industria aplique las tecnologías más eficientes en el uso de la energía vinculada al uso de agua mediante, por ejemplo, el asesoramiento técnico o la concesión de ayudas financieras. Por otra parte, los decisores públicos deberán tener en cuenta que los incrementos en el precio de la energía implican un mayor consumo de agua (elasticidad de 1,53), dificultando las políticas de conservación del recurso.

Los resultados agregados permiten, además, identificar el nivel de producción como un determinante significativo de la demanda de agua (elasticidad de 1,04). Por tanto, cualquier política que tenga como objetivo reducir el uso de agua por la industria y contribuir a su sostenibilidad debería adoptar medidas para reducir esa elasticidad. Para ello puede ser necesario recurrir a instrumentos como la regulación (estándares técnicos) o el apoyo financiero a la innovación tecnológica dirigida al ahorro de agua. Dado que la elasticidad de la demanda respecto al *output* muestra una gran variabilidad entre ramas de actividad debería prestarse especial atención a las ramas en que esa elasticidad es significativa y más elevada.

Apéndices

A Resultados adicionales

Tabla A.1: Test de raíz unitaria por ramas de actividad

	LLC	IPS	Fisher				HADRI	Conclusión
			P	Z	L	Pm		
ln Y								
Rama 1	0,07	0,00	0,05	0,23	0,25	0,04	0,00	I(1)
Rama 2	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	I(0)
Rama 3	0,97	0,16	0,21	0,91	0,86	0,22	0,00	I(1)
Rama 4	0,03	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	I(0)
Rama 5	0,00	0,00	0,25	0,39	0,39	0,27	0,00	I(1)
Rama 6	0,92	0,51	0,98	1,00	1,00	0,96	0,00	I(1)
Rama 7	0,99	0,14	0,30	0,94	0,97	0,32	0,00	I(1)
Rama 8	0,23	0,01	0,33	0,64	0,62	0,36	0,00	I(1)
Rama 9	0,49	0,00	0,06	0,31	0,32	0,05	0,00	I(1)
Rama 10	0,00	0,00	0,08	0,02	0,03	0,07	0,00	I(0)
Rama 11	0,00	0,00	0,12	0,15	0,14	0,12	0,00	I(1)
ln Q _K								
Rama 1	0,00	0,18	0,76	0,95	0,94	0,77	0,00	I(1)
Rama 2	0,16	0,18	0,61	0,97	0,97	0,63	0,00	I(1)
Rama 3	0,00	0,75	1,00	1,00	1,00	0,99	0,00	I(1)
Rama 4	0,00	0,40	0,85	0,98	0,98	0,84	0,00	I(1)
Rama 5	0,00	0,79	0,99	1,00	1,00	0,98	0,00	I(1)
Rama 6	0,00	0,09	0,28	0,70	0,65	0,31	0,00	I(1)
Rama 7	0,00	0,11	0,87	0,88	0,88	0,86	0,00	I(1)
Rama 8	0,00	0,87	0,00	0,98	0,23	0,00	0,00	I(1)
Rama 9	0,00	0,52	0,76	0,92	0,90	0,77	0,00	I(1)
Rama 10	0,00	0,30	0,54	0,77	0,76	0,57	0,00	I(1)
Rama 11	0,00	0,96	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	I(1)
ln Q _L								
Rama 1	0,40	0,00	0,28	0,32	0,34	0,30	0,00	I(1)
Rama 2	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	I(0)
Rama 3	0,95	0,01	0,04	0,43	0,43	0,03	0,00	I(1)
Rama 4	0,04	0,00	0,00	0,05	0,01	0,00	0,00	I(0)
Rama 5	0,00	0,00	0,05	0,18	0,18	0,04	0,00	I(0)
Rama 6	0,58	0,63	1,00	1,00	1,00	0,99	0,00	I(1)
Rama 7	1,00	0,03	0,09	0,28	0,32	0,08	0,00	I(1)
Rama 8	0,48	0,16	0,22	0,91	0,88	0,23	0,00	I(1)
Rama 9	0,52	0,00	0,01	0,20	0,13	0,00	0,00	I(1)
Rama 10	0,84	0,07	0,84	0,91	0,90	0,84	0,00	I(1)
Rama 11	0,03	0,00	0,07	0,15	0,11	0,06	0,00	I(1)
ln Q _W								
Rama 1	0,29	0,12	0,28	0,24	0,23	0,30	0,00	I(1)
Rama 2	0,73	0,42	0,74	0,68	0,69	0,75	0,00	I(1)
Rama 3	0,01	0,04	0,04	0,08	0,07	0,03	0,00	I(0)
Rama 4	0,33	0,47	0,87	0,75	0,73	0,87	0,00	I(1)
Rama 5	0,20	0,64	0,67	0,56	0,50	0,69	0,00	I(1)
Rama 6	0,54	0,54	0,59	0,80	0,80	0,62	0,00	I(1)
Rama 7	0,71	0,45	0,39	0,71	0,71	0,42	0,00	I(1)
Rama 8	0,13	0,67	0,96	0,91	0,89	0,94	0,00	I(1)
Rama 9	0,58	0,32	0,51	0,58	0,52	0,54	0,00	I(1)
Rama 10	0,71	0,96	1,00	1,00	1,00	0,99	0,00	I(1)
Rama 11	0,03	0,01	0,05	0,02	0,03	0,04	0,00	I(0)

	LLC	IPS	Fisher				HADRI	Conclusión
			P	Z	L	Pm		
ln Q _E								
Rama 1	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,00	I(0)
Rama 2	0,76	0,40	0,67	0,67	0,65	0,69	0,00	I(1)
Rama 3	0,16	0,13	0,13	0,24	0,20	0,13	0,00	I(1)
Rama 4	0,22	0,55	0,49	0,82	0,78	0,52	0,00	I(1)
Rama 5	0,00	0,12	0,26	0,23	0,23	0,28	0,00	I(1)
Rama 6	0,52	0,95	0,38	0,96	0,95	0,41	0,00	I(1)
Rama 7	0,07	0,52	0,86	0,78	0,78	0,86	0,00	I(1)
Rama 8	0,98	0,78	0,90	0,95	0,95	0,89	0,00	I(1)
Rama 9	0,95	0,40	0,46	0,66	0,62	0,49	0,00	I(1)
Rama 10	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	0,99	0,00	I(1)
Rama 11	0,44	0,69	0,44	0,63	0,64	0,48	0,00	I(1)
ln P _L								
Rama 1	0,16	0,72	0,93	0,92	0,92	0,91	0,00	I(1)
Rama 2	0,88	0,77	0,75	0,92	0,94	0,76	0,00	I(1)
Rama 3	0,96	0,82	0,29	0,93	0,93	0,32	0,00	I(1)
Rama 4	0,64	0,33	0,60	0,57	0,57	0,63	0,00	I(1)
Rama 5	0,60	0,13	0,29	0,26	0,25	0,31	0,00	I(1)
Rama 6	0,83	0,56	0,17	0,78	0,72	0,17	0,00	I(1)
Rama 7	1,00	0,26	0,18	0,45	0,46	0,19	0,00	I(1)
Rama 8	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	I(0)
Rama 9	0,98	0,97	0,98	1,00	1,00	0,97	0,00	I(1)
Rama 10	1,00	0,90	0,77	0,99	0,99	0,78	0,00	I(1)
Rama 11	0,53	0,42	0,46	0,68	0,65	0,49	0,00	I(1)
ln GT								
Rama 1	0,01	0,00	0,03	0,11	0,10	0,02	0,00	I(0)
Rama 2	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	I(0)
Rama 3	0,73	0,04	0,21	0,80	0,70	0,23	0,00	I(1)
Rama 4	0,02	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	I(0)
Rama 5	0,00	0,00	0,17	0,25	0,27	0,17	0,00	I(1)
Rama 6	0,25	0,20	0,99	1,00	0,99	0,98	0,00	I(1)
Rama 7	0,80	0,01	0,13	0,50	0,58	0,13	0,00	I(1)
Rama 8	0,03	0,00	0,46	0,58	0,61	0,49	0,00	I(1)
Rama 9	0,23	0,01	0,24	0,58	0,61	0,26	0,00	I(1)
Rama 10	0,23	0,01	0,47	0,59	0,59	0,50	0,00	I(1)
Rama 11	0,00	0,00	0,12	0,14	0,13	0,12	0,00	I(1)

Nota: En la tabla se muestra el p-valor. Únicamente se muestran los resultados de las variables en niveles, puesto que para las variables en diferencias se rechaza la hipótesis nula de raíz unitaria en todos los casos. Las variables de serie temporal (precio del capital y precios energéticos) y la variable precio del agua no se han considerado en este caso porque son variables sin variación por ramas de actividad. El test de Fisher combina los p-valores usando la inversa de la distribución chi-cuadrado (P), la inversa de la normal (Z), la inversa de las transformaciones logit (L) y una versión modificada de la inversa de la transformación chi-cuadrado propuesta por Choi (2001) (P_m).

Tabla A.3: Test de raíz unitaria robustos a correlación transversal por ramas de actividad

	CIPS	MP	CHOI	BNG	Conclusión		CIPS	MP	CHOI	BNG	Conclusión
$\ln Y$						$\ln Q_E$					
Rama 1	0,64	0,20	0,04	0,05	NC	Rama 1	0,28	0,00	0,02	0,94	NC
Rama 2	0,24	0,00	0,02	0,11	NC	Rama 2	0,13	0,00	0,11	-	I(1)
Rama 3	0,96	0,00	0,54	0,08	I(1)	Rama 3	0,93	0,00	0,97	0,73	I(1)
Rama 4	0,01	0,03	1,00	0,97	NC	Rama 4	0,06	0,00	0,98	0,27	I(1)
Rama 5	0,02	0,00	0,65	0,24	NC	Rama 5	0,63	0,00	0,00	-	I(0)
Rama 6	0,03	0,00	1,00	0,82	NC	Rama 6	0,03	0,00	1,00	0,85	NC
Rama 7	0,01	0,00	1,00	0,95	NC	Rama 7	0,36	0,00	0,98	0,13	I(1)
Rama 8	0,86	0,00	1,00	0,97	I(1)	Rama 8	0,04	0,00	0,76	0,96	NC
Rama 9	0,25	0,00	1,00	0,32	I(1)	Rama 9	0,02	0,00	0,98	0,38	NC
Rama 10	0,30	0,00	0,93	0,68	I(1)	Rama 10	0,01	0,00	0,07	0,72	NC
Rama 11	0,34	0,00	0,96	0,15	I(1)	Rama 11	0,03	0,00	0,56	0,90	NC
$\ln Q_K$						$\ln P_L$					
Rama 1	0,11	0,04	0,51	0,00	NC	Rama 1	0,86	0,00	0,00	0,00	I(0)
Rama 2	0,71	0,00	1,00	-	I(1)	Rama 2	0,07	0,00	0,85	0,19	I(1)
Rama 3	0,01	0,00	1,00	0,09	NC	Rama 3	0,05	0,00	0,00	0,93	I(0)
Rama 4	0,01	0,02	1,00	0,83	NC	Rama 4	0,43	0,00	0,00	0,71	NC
Rama 5	0,75	0,17	0,35	0,46	I(1)	Rama 5	0,03	0,00	0,00	0,00	I(0)
Rama 6	0,01	0,20	1,00	-	I(1)	Rama 6	0,24	0,00	0,03	0,17	NC
Rama 7	0,02	0,00	1,00	0,16	NC	Rama 7	0,01	0,00	0,37	-	I(0)
Rama 8	0,02	0,00	0,79	0,98	NC	Rama 8	0,10	0,00	0,04	0,54	NC
Rama 9	0,13	0,23	1,00	0,82	I(1)	Rama 9	0,24	0,00	0,30	0,00	NC
Rama 10	0,01	0,23	1,00	0,29	I(1)	Rama 10	0,12	0,00	0,09	0,23	I(1)
Rama 11	0,01	0,01	1,00	0,93	NC	Rama 11	0,01	0,00	0,05	0,54	I(0)
$\ln Q_L$						$\ln GT$					
Rama 1	0,31	0,00	0,87	0,86	I(1)	Rama 1	0,61	0,39	0,00	0,21	I(1)
Rama 2	0,01	0,00	0,99	-	I(0)	Rama 2	0,28	0,00	0,00	0,56	NC
Rama 3	0,78	0,00	1,00	0,24	I(1)	Rama 3	0,96	0,00	0,46	0,12	I(1)
Rama 4	0,06	0,00	1,00	0,79	I(1)	Rama 4	0,01	0,00	0,96	0,96	NC
Rama 5	0,29	0,00	0,89	0,40	I(1)	Rama 5	0,02	0,00	0,75	0,91	NC
Rama 6	0,46	0,00	1,00	0,15	I(1)	Rama 6	0,01	0,00	1,00	0,60	NC
Rama 7	0,09	0,00	1,00	1,00	I(1)	Rama 7	0,01	0,00	1,00	1,00	NC
Rama 8	0,98	0,00	1,00	0,93	I(1)	Rama 8	0,77	0,00	0,97	0,81	I(1)
Rama 9	0,49	0,00	1,00	-	I(1)	Rama 9	0,43	0,00	1,00	0,21	I(1)
Rama 10	0,68	0,00	0,86	0,75	I(1)	Rama 10	0,83	0,19	0,70	0,86	I(1)
Rama 11	0,99	0,00	0,48	0,66	I(1)	Rama 11	0,34	0,00	0,92	0,44	I(1)
$\ln Q_W$											
Rama 1	0,21	0,00	0,00	0,72	NC						
Rama 2	0,48	0,00	0,00	-	I(0)						
Rama 3	0,79	0,00	0,00	0,99	NC						
Rama 4	0,32	0,00	0,15	0,57	I(1)						
Rama 5	0,73	0,00	0,04	-	I(0)						
Rama 6	0,35	0,00	0,56	-	I(1)						
Rama 7	0,51	0,00	0,00	0,69	NC						
Rama 8	0,85	0,00	0,15	-	I(1)						
Rama 9	0,01	0,00	0,00	0,93	I(0)						
Rama 10	0,06	0,00	0,12	0,92	I(1)						
Rama 11	0,11	0,00	0,00	0,25	NC						

Nota: En la tabla se muestra el p-valor. Únicamente se muestran los resultados de las variables en niveles, puesto que para las variables en diferencias se rechaza la hipótesis nula de raíz unitaria en todos los casos. Las variables de serie temporal (precio del capital y precios energéticos) y la variable precio del agua no se han considerado en este caso porque son variables sin variación por ramas de actividad.

En todos los test realizados, las hipótesis nula y alternativa son las siguientes: H_0 : raíz unitaria; H_1 : no raíz unitaria. NC significa que los test no son conclusivos.

Tabla A.4: Elasticidades de Morishima entre los *inputs* no hídricos para el agregado y por ramas de actividad y regiones

	M_{KL}	M_{KE}	M_{KS}	M_{LK}	M_{LE}	M_{LS}	M_{EK}	M_{EL}	M_{ES}	M_{SK}	M_{SL}	M_{SE}
Agregado	2,91 (0,00)	2,88 (0,00)	0,30 (0,11)	0,93 (0,00)	0,66 (0,00)	1,55 (0,00)	2,20 (0,00)	4,46 (0,00)	1,49 (0,00)	0,66 (0,00)	2,92 (0,00)	0,91 (0,00)
Por ramas de actividad:												
Rama 1	4,30 (0,00)	4,19 (0,00)	-0,12 (0,95)	1,39 (0,00)	0,26 (0,71)	1,57 (0,00)	3,83 (0,00)	-0,43 (0,95)	1,76 (0,00)	0,25 (0,71)	2,68 (0,00)	3,30 (0,00)
Rama 2	1,82 (0,00)	1,81 (0,00)	1,74 (0,09)	0,53 (0,00)	1,19 (0,00)	1,25 (0,00)	1,32 (0,00)	-6,01 (0,00)	1,14 (0,00)	1,21 (0,00)	2,01 (0,00)	0,77 (0,00)
Rama 3	3,81 (0,00)	3,98 (0,00)	0,28 (0,87)	0,82 (0,00)	0,66 (0,47)	2,01 (0,00)	4,52 (0,00)	7,58 (0,04)	2,24 (0,00)	0,65 (0,47)	3,51 (0,00)	2,82 (0,00)
Rama 4	2,39 (0,00)	2,54 (0,00)	-1,26 (0,42)	0,21 (0,20)	0,63 (0,12)	0,56 (0,00)	2,63 (0,00)	6,94 (0,04)	0,70 (0,00)	0,63 (0,12)	2,25 (0,00)	1,41 (0,00)
Rama 5	3,79 (0,00)	4,14 (0,00)	0,26 (0,84)	-0,20 (0,40)	0,67 (0,15)	1,51 (0,00)	4,62 (0,00)	0,36 (0,91)	1,89 (0,00)	0,67 (0,15)	3,45 (0,00)	2,17 (0,00)
Rama 6	0,63 (0,16)	0,57 (0,24)	0,04 (0,97)	0,43 (0,02)	0,81 (0,01)	1,70 (0,00)	0,22 (0,70)	5,66 (0,07)	1,51 (0,00)	0,80 (0,02)	0,83 (0,06)	1,05 (0,00)
Rama 7	1,97 (0,00)	1,99 (0,00)	-2,49 (0,17)	0,37 (0,15)	0,73 (0,03)	1,20 (0,00)	1,73 (0,00)	5,51 (0,06)	1,20 (0,00)	0,72 (0,04)	1,98 (0,00)	1,50 (0,00)
Rama 8	2,24 (0,16)	2,00 (0,24)	-4,52 (0,32)	1,98 (0,00)	-2,33 (0,34)	2,00 (0,00)	0,91 (0,60)	101,89 (0,00)	1,62 (0,00)	-2,38 (0,33)	3,43 (0,07)	0,40 (0,60)
Rama 9	0,85 (0,32)	0,81 (0,36)	17,43 (0,05)	0,15 (0,45)	0,81 (0,79)	2,36 (0,00)	0,22 (0,80)	-33,58 (0,00)	2,41 (0,00)	0,84 (0,78)	0,77 (0,44)	2,47 (0,00)
Rama 10	1,98 (0,03)	2,08 (0,03)	17,86 (0,03)	-0,30 (0,18)	1,29 (0,68)	1,52 (0,00)	2,31 (0,02)	5,82 (0,57)	1,57 (0,00)	1,33 (0,67)	1,80 (0,07)	0,89 (0,10)
Rama 11	4,31 (0,00)	4,51 (0,00)	-0,04 (0,99)	0,14 (0,46)	1,08 (0,10)	0,57 (0,00)	4,57 (0,00)	-4,01 (0,41)	0,85 (0,00)	1,08 (0,10)	3,73 (0,00)	1,57 (0,00)
Por regiones:												
Regiones húmedas	-0,06 (0,93)	0,00 (1,00)	-0,26 (0,70)	0,98 (0,00)	1,31 (0,00)	0,37 (0,00)	1,10 (0,00)	1,11 (0,00)	0,99 (0,00)	-0,93 (0,18)	0,05 (0,53)	-0,21 (0,23)
Regiones áridas	4,04 (0,00)	4,12 (0,00)	4,08 (0,00)	0,87 (0,00)	0,48 (0,00)	0,20 (0,00)	1,93 (0,00)	1,85 (0,00)	1,86 (0,00)	3,39 (0,00)	0,25 (0,00)	1,54 (0,00)
Regiones con precios bajos	-1,17 (0,14)	-1,16 (0,15)	-1,49 (0,08)	1,07 (0,00)	1,16 (0,00)	0,25 (0,00)	1,22 (0,00)	1,22 (0,00)	1,11 (1,00)	-2,19 (0,01)	-0,17 (0,04)	-0,13 (0,49)
Regiones con precios altos	2,90 (0,00)	2,87 (0,00)	2,91 (0,00)	0,81 (0,00)	0,53 (0,00)	0,28 (0,00)	1,84 (0,00)	1,83 (0,00)	1,84 (1,00)	2,36 (0,00)	0,30 (0,00)	1,63 (0,00)

Nota: Entre paréntesis se muestra el p-valor.

Capítulo 3

La demanda de agua urbana para actividades productivas. Una aplicación al municipio de Zaragoza con microdatos

Resumen

Las actividades humanas contribuyen, directa o indirectamente, a que la escasez de agua sea un problema cada vez más generalizado y grave. En este contexto es esencial disponer de instrumentos de gestión de la demanda de agua, entre los cuales se reconoce habitualmente un papel protagonista a los precios. Sin embargo, el conocimiento sobre el comportamiento de la demanda y el papel de los precios es muy dispar según usos. En particular, los usos productivos en los entornos urbanos están poco estudiados. Este estudio pretende cubrir este hueco. Disponemos de microdatos de 8.615 empresas localizadas en el municipio de Zaragoza (España) para el periodo 1993-2012. Partiendo de la función de costes *translog*, estimamos las elasticidades precio directas de los *inputs* (agua, capital, trabajo y suministros), la elasticidad *output* y las elasticidades de sustitución. El precio del agua lo especificamos a través del precio marginal, tras obtener evidencia a su favor frente al precio medio. La elasticidad de la demanda de agua es -0,86, la elasticidad *output* es 0,73 y el agua y el resto de *inputs* son sustitutivos. Estos resultados agregados indican que el precio del agua puede ser utilizado eficazmente como instrumento de gestión de la demanda. Sin embargo, los resultados detallados por ramas de actividad muestran que en las ramas con una menor participación del agua en los costes la influencia del precio no es significativa, lo que hace recomendable la utilización conjunta de otros instrumentos de intervención para que todas ellas contribuyan al objetivo de reducción del consumo de agua.

3.1 Introducción

En un contexto de escasez de agua cada vez más evidente [World Water Assessment Programme (2012)], el adecuado diseño de las políticas relacionadas con su gestión resulta esencial. El reto es compatibilizar la satisfacción de las necesidades humanas en sus distintas facetas (actividades productivas, consuntivas y recreativas) y la conservación del medio ambiente. Con esta finalidad, la Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/EC, 23 Octubre 2000) [European Community (2000)] aboga de modo preferente por el uso de instrumentos económicos, en particular, el precio.

La investigación sobre la demanda de agua es imprescindible para el adecuado diseño de las políticas de gestión de este recurso, tanto en el ámbito de la gestión de la propia demanda como en la gestión de la oferta (por ejemplo, las inversiones en infraestructuras de suministro y tratamiento). Al respecto, la cuestión esencial es dilucidar en qué medida la política tarifaria o política de precios del agua puede contribuir a reducir la presión sobre la dotación de agua y sus funciones ambientales, así como a mejorar la eficiencia de la asignación del agua entre sus usos alternativos, o ser un mero instrumento de financiación de los servicios de suministro y tratamiento del agua. Aunque también interesa conocer qué otras variables económicas, y de qué modo, condicionan la cantidad de agua demandada.

Los problemas de escasez y sus consecuencias son especialmente graves en los entornos urbanos, en los que se concentra una parte cada vez mayor de la población y de

la actividad económica mundial. En estos entornos, la falta de agua o el deterioro de su calidad impactan directamente sobre las condiciones de vida y la salud de la población y limitan el desarrollo económico de los países [European Environment Agency (2012)].

Los investigadores han prestado una considerable atención a la demanda de agua en las ciudades. Sin embargo, esa atención se ha centrado abrumadoramente en la demanda de los hogares y en mucha menor medida en la demanda que proviene de las actividades productivas, tal y como se aprecia en los trabajos de revisión de la literatura [Brookshire *et al.* (2002), Arbués *et al.* (2003), Worthington y Hoffman (2008) y Nauges y Whittington (2010), para los usos domésticos, y Renzetti (2002), Gispert (2004) y Worthington (2010), para los usos productivos]. Además, entre los estudios que se han ocupado de los usos productivos, la mayoría solo analiza el sector manufacturero, en tanto que el sector servicios ha recibido una atención mínima y el sector de la construcción, nula.

En este capítulo estimamos la demanda de agua para usos productivos en el municipio de Zaragoza (España), de especial interés por su localización en un entorno árido en el que los conflictos sobre el uso del agua son frecuentes. En concreto, estimamos la demanda de agua potable suministrada a través de la red pública de abastecimiento (agua de red) en los sectores de la industria, la construcción y los servicios. Los principales resultados se refieren a la elasticidad precio directa, la elasticidad respecto al *output* y las elasticidades de sustitución de Morishima. El objetivo es contribuir a un conocimiento más amplio, detallado y riguroso de las características de la demanda de agua para usos productivos. Para ello, como principal elemento diferencial frente a la literatura previa, operamos con un panel de microdatos y analizamos la totalidad de las actividades productivas que se desarrollan en el entorno urbano, no solo de modo agregado sino incluyendo también un amplio detalle por ramas de actividad, y discutimos la especificación del precio.

El uso de microdatos es reconocido ampliamente como el enfoque idóneo para abordar la estimación de la función de demanda de agua [Schefter y David (1985), Young (1996), Saleth y Dinar (2000), Arbués *et al.* (2003)], ya que revela el comportamiento individual de los agentes y evita un posible sesgo de agregación cuando los individuos no son suficientemente homogéneos, como es el caso de las actividades productivas realizadas en los entornos urbanos. Sin embargo, la disponibilidad de microdatos se enfrenta habitualmente a dificultades insalvables, de modo muy especial en el caso de las actividades productivas, por lo que la mayoría de trabajos utilizan datos agregados por ramas de actividad y/o regiones [es el caso de Turnovsky (1969), Grebenstein y Field (1979), Dupont y Renzetti (2001), Renzetti y Dupont (2003), Dachraoui y Harchaoui (2004) y Liu *et al.* (2009), entre otros].

En cuanto a los trabajos que han accedido a microdatos, la mayor parte de ellos sólo ha podido disponer de un número reducido de observaciones, normalmente para una sola rama de actividad y/o para un único año, teniendo que operar con un corte transversal en vez de un panel [es el caso de Renzetti (1988, 1992a, 1993), Wang y Lall (2002), Féres y Reynaud (2005) y Ku y Yoo (2012), entre otros]. Sin embargo, no hay duda que el panel de microdatos es el enfoque más adecuado por captar al mismo tiempo la dimensión individual y temporal. El problema es que, normalmente, el acceso a microdatos

de encuestas oficiales o de registros administrativos está restringido por la legislación sobre secreto estadístico y los investigadores no suelen tener capacidad para generar bases de datos propias de la dimensión requerida.

El análisis de la totalidad de las actividades productivas que se desarrollan en el entorno urbano, atendiendo tanto al agregado como al detalle de los sectores y ramas de actividad, es también inhabitual en la literatura debido a los condicionantes de la información disponible. Así, numerosos trabajos ofrecen resultados únicamente para el agregado de un sector, como hacen, entre otros, Dupont y Renzetti (2001), Féres y Reynaud (2005) y Bell y Griffin (2008) para la industria, y Williams y Suh (1986), Stone y Whittington (1984) y Gómez-Ugalde *et al.* (2012) para los servicios. Además, aquellos que descienden al detalle por ramas de actividad abarcan solo una parte de ellas, como es el caso de Babin *et al.* (1982), Renzetti (1988, 1992a, 1993), Féres y Reynaud (2005) y Féres *et al.* (2012) en el ámbito de la industria, y Lynne (1977), Lynne *et al.* (1978) y Moeltner y Stoddard (2004) en el ámbito de los servicios. También hay trabajos que centran su atención en una única rama de actividad que destaca por su singular relación con el input agua, como hacen, entre otros, Ziegler y Bell (1984) para la industria química, Dupont y Renzetti (1998) para la industria alimentaria, Linz y Tsegai (2009) para la minería y Angulo *et al.* (2014) para la hostelería.

Sin embargo, las grandes diferencias existentes entre los distintos sectores y ramas en cuanto a las características de su proceso productivo y al uso del agua hacen indispensable el análisis detallado de la totalidad de las actividades productivas, ya que tales diferencias tienden a traducirse en resultados diferentes para las elasticidades estimadas. No puede ser de otro modo cuando, según los casos, el agua se emplea para la refrigeración, la producción de vapor, la incorporación al producto final, la limpieza o, simplemente, el aseo personal.

Tras esta introducción, en la Sección 3.2 se presenta el caso de estudio. En la Sección 3.3 se describen y analizan los datos empleados. Seguidamente, en la Sección 3.4 se expone el modelo teórico propuesto y en la Sección 3.5, la estimación econométrica. Los resultados se muestran y discuten en la Sección 3.6. Finalmente, se presentan las principales conclusiones en la Sección 3.7.

3.2 Caso de estudio

España es uno de los países europeos más áridos y con mayores problemas de escasez de agua de Europa. Estos problemas son especialmente graves en la cuenca del Ebro, situada en el cuadrante noreste de la Península Ibérica, donde se ubica el municipio de Zaragoza. El balance hídrico anual (precipitaciones menos evapotranspiración) de la cuenca del Ebro es claramente desfavorable: -97 mm/m^2 de media en el periodo 1996-2010, frente a la media española de 135 mm/m^2 [Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2016)]. Esto equivale a un índice de aridez (la precipitación dividida por la evapotranspiración) de 0,75 para la cuenca del Ebro y 1,20 para España, mientras

que el valor de este índice para países como Reino Unido, Alemania y Francia es de 2,26, 1,62 y 1,56, respectivamente [Eurostat (2016)].

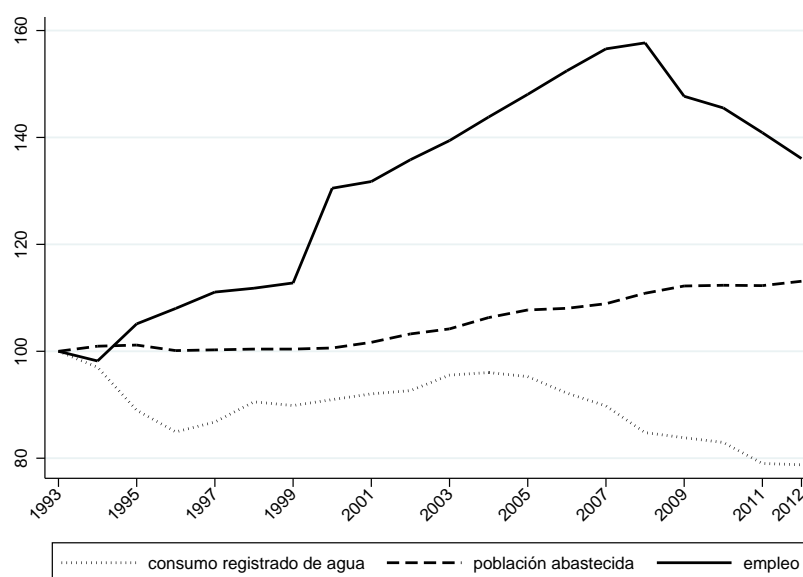
En este entorno, el agua está sometida a fuertes presiones de demanda, siendo recurrentes los conflictos entre los usos agrícolas y el resto de usos del agua. Sirva a modo de ejemplo la situación de la Comunidad de Regantes del Alto Aragón que abarca 135.000 Ha de regadío, donde la escasez de agua hace que, muchos años, la dotación de agua represente menos del 25 % de las necesidades netas de los regantes, teniendo que establecer un sistema de cupos [Riegos del Alto Aragón (2008, 2012)]. Esto se traduce en continuas peticiones de una mayor dotación de agua y de construcción de nuevas infraestructuras de almacenamiento del recurso. A los problemas por el reparto del agua entre sus usos alternativos se unen los conflictos territoriales, especialmente, las reclamaciones de acceso al agua del río Ebro desde el sureste de la Península Ibérica, como ilustra el Plan Hidrológico Nacional aprobado en 2001 (Ley 10/2001, 5 Julio 2001) [España (2001)] en el que se preveía el trasvase de 1.050 hm³ anuales de agua. Por todo ello, el municipio de Zaragoza es un caso de estudio de especial interés para analizar la demanda de agua urbana para usos productivos y el papel desempeñado por los precios en su gestión.

El municipio de Zaragoza es el quinto municipio más poblado de España con 666.058 habitantes. La renta disponible bruta per cápita del municipio fue de 17.227 € en 2012, lo que representa un 122 % de la media española. La estructura productiva del municipio es similar a la de otros grandes municipios españoles, caracterizada por una predominancia del empleo en el sector servicios (84 %), seguido de la industria (10 %), la construcción (5 %) y la agricultura y ganadería (1 %), según datos para el año 2012 del Instituto Aragonés de Estadística [IAEST (2015)]. No existen datos para el municipio del PIB por sectores, pero sirve de referencia los datos de la provincia de Zaragoza (unidad NUTS III de EUROSTAT en España), dentro de la cual el municipio aporta el 70 % del empleo: el sector servicios generó en 2012 el 68 % del PIB, seguido de la industria (23 %), la construcción (6 %) y la agricultura y ganadería (3 %) [IAEST (2015)].

El servicio de abastecimiento y saneamiento de agua (suministro de agua potable y recogida y tratamiento de aguas residuales) en el municipio de Zaragoza es gestionado directamente por su Ayuntamiento. Como es habitual en España, el agua consumida por los usuarios del servicio es controlada a través de contadores individuales y gravada mediante un sistema tarifario aprobado y revisado anualmente por el propio Ayuntamiento.

En 2012, el consumo de agua en el municipio, registrado a través de dichos contadores, fue de 34,9 Hm³, de los cuales el 75 % corresponde a usos domésticos y el resto, a los sectores económicos. La evolución de esta magnitud se ha caracterizado por una constante reducción, al tiempo que se incrementaba la población abastecida y el empleo, tal y como se comprueba en la Figura 3.1. Así, entre 1993 y 2012, el consumo registrado de agua se redujo en un 21 %, en contraste con el incremento habido en la población abastecida (13 %) y en el empleo del municipio (36 %) [para un mayor detalle, véase Barberán y Gracia-de-Rentería (2012)].

Figura 3.1: Evolución del consumo registrado de agua, la población abastecida y el empleo en el municipio de Zaragoza (índice 1993=100)



Nota: Los datos de consumo registrado de agua y población abastecida se refieren al municipio de Zaragoza (Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por el Ayuntamiento de Zaragoza). Los datos de empleo se refieren a la provincia de Zaragoza (Fuente: INE (2016)).

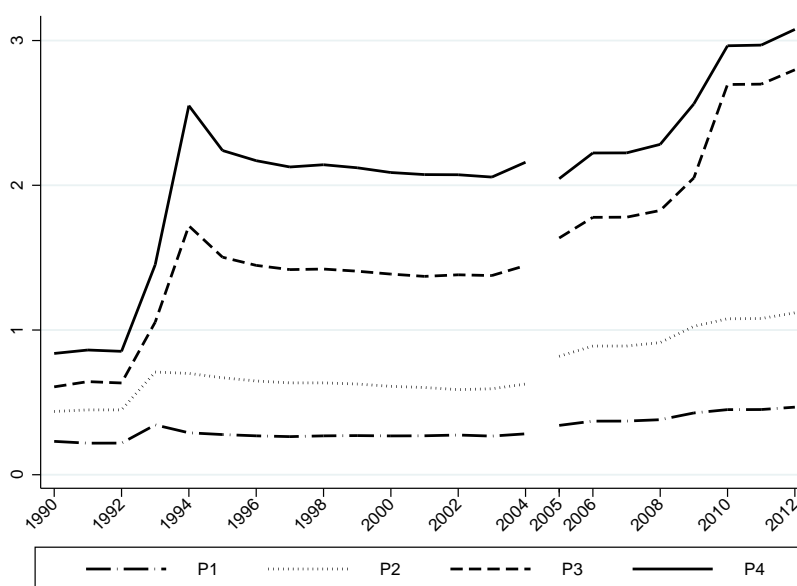
El sistema tarifario que grava el abastecimiento y saneamiento de agua en el municipio es un sistema binomial que combina una cuota fija, que depende del calibre del contador instalado a la entrada de la red de distribución interna de las viviendas e instalaciones productivas, y una cuota variable que depende del volumen de agua registrada en ese contador (cuota volumétrica). Para el cálculo de esta cuota variable se aplica una tarifa por bloques de consumo con precios crecientes. Los primeros bloques están pensados para satisfacer las necesidades básicas de agua a un coste asequible para los usuarios, mientras que los bloques superiores pretenden disuadirles de realizar un consumo excesivo. Además, tanto la cuota fija como la cuota variable se dividen en una cuota de abastecimiento y una cuota de saneamiento.

La cuota fija mínima en 2012 era de 0,13 €/día para los calibres de hasta 20 mm -el habitual para el suministro a los hogares-, incrementándose progresivamente para los intervalos de 20-25-30-40-50-65-80-100-125-150-200-250-300-400-500 mm, hasta llegar a una cuota máxima de 624 €/día. Entre 1993 y 2012, la cuota fija mínima se ha incrementado en términos reales un 40 % y la máxima un 58 %. La finalidad de la cuota fija es contribuir a la recuperación de los costes fijos, especialmente relevantes en los servicios de abastecimiento y saneamiento [véase Barberán *et al.* (2008)], como modo de reducir la pérdida de eficiencia en la asignación del agua que se da cuando esa recuperación se basa exclusivamente en la cuota variable. Además, pretende incentivar a los usuarios del servicio a instalar calibres de contador ajustados a sus necesidades de consumo de agua,

reduciendo así el potencial de consumo instantáneo de agua en el municipio y, por tanto, el tamaño de las instalaciones de captación, tratamiento y distribución de agua potable y de recogida, tratamiento y vertido de aguas residuales.

El precio correspondiente a la cuota variable se ha ido adaptando en el tiempo, con la finalidad de mejorar el grado de recuperación de los costes en que incurre el municipio para prestar el servicio de abastecimiento y saneamiento, mejorar la equidad en el reparto de los costes entre los usuarios y propiciar un uso más eficiente del recurso desincentivando su despilfarro. Esto se ha traducido en un incremento significativo del precio del agua en términos reales en los últimos años y en cambios en los precios relativos de los distintos bloques de la tarifa, tal y como se comprueba en la Figura 3.2. El incremento en los dos primeros bloques ha sido menor que en los dos últimos, con la finalidad de preservar la accesibilidad de todos los usuarios a los servicios básicos de abastecimiento y saneamiento de agua.

Figura 3.2: Evolución del precio del agua en el municipio de Zaragoza.
(€ constantes de 2012 por m³)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Barberán y Domínguez (2006) para el periodo 1990-2002 y de las Ordenanzas Fiscales 24.25 del Ayuntamiento de Zaragoza para el periodo 2003-2012.

De 1990 a 2004, la tarifa por bloques se estructuraba en cuatro bloques de consumo: de 0 a 6, de 6 a 13, de 13 a 35 y más de 35 m³/mes, con precios comunes para usuarios domésticos (hogares) y no domésticos (actividades productivas). Aunque en el periodo de 1996 a 2004 estuvo vigente una tarifa de precios medios de apariencia radicalmente distinta, en esencia era equivalente a la del periodo precedente, según se demuestra en Barberán y Domínguez (2006). Desde 2005, la tarifa distingue entre usuarios domésticos y no domésticos y se estructura en tres bloques (de 0 a 6, de 6 a 18,5 y más de 18,5 m³/mes),

con precios parcialmente distintos según tipo de usuario: los precios P1, P2 y P3 gravan el agua de cada uno de los bloques que es suministrada a los usuarios domésticos, en tanto que la suministrada al resto de usuarios es gravada por los precios P2 (para los consumos de 0 a 18,5 m³/mes) y P4 (para los consumos de más de 18,5 m³/mes).

Se distinguen claramente cuatro etapas en la evolución de los precios, expresados en unidades monetarias de poder adquisitivo constante: de 1990 a 1992, en que se mantuvieron prácticamente inalterados; 1993 y 1994, en que hubo un extraordinario crecimiento de los precios, relacionado con el incremento de los costes del servicio por la puesta en marcha de la planta depuradora del municipio; de 1995 a 2004, en que los precios se reducen, de forma brusca en el primer año y lentamente en el resto del periodo; y de 2005 en adelante, a raíz de la reforma de la estructura de la tarifa, en que se produce un crecimiento sostenido e intenso de los precios.

Esta estructura tarifaria con bloques crecientes es muy común en España, tal y como muestran Arbués y Barberán (2012). La comparación de la tarifa doméstica del municipio de Zaragoza con el resto de capitales de provincia españolas indica una mayor penalización de los consumos excesivos en este municipio, ya que la ratio entre el precio del último bloque y el precio del primer bloque de la tarifa en el año 2008 era de 4,79, mientras que en la mayoría de las capitales de provincia era menor o próxima a 2.

3.3 Datos

Los datos provienen de dos fuentes de información. En primer lugar, la información sobre uso de agua en cada planta o instalación productiva conectada a la red de suministro ha sido suministrada por el Ayuntamiento de Zaragoza. En segundo lugar, la información sobre las principales magnitudes económicas de las empresas ha sido obtenida de la base de datos “Sistema de Análisis de Balances Ibérico” (SABI). Esta base de datos, elaborada por INFORMA D&B en colaboración con Bureau Van Dijk, permite el acceso a información relativa a las cuentas anuales de más de 1,25 millones de empresas españolas (para más información, véase <http://www.informa.es/en/financial-solutions/sabi>). La información de estas dos bases de datos se ha conectado a través del número de identificación fiscal (NIF) de las empresas.

La información suministrada por el Ayuntamiento de Zaragoza cubre la totalidad de las instalaciones productivas del municipio conectadas a su red de suministro de agua. Sin embargo, la información de SABI no cubre la totalidad de las empresas del municipio, ya que solo facilita datos de las sociedades mercantiles, que tienen la obligación de presentar sus cuentas anuales en el Registro Mercantil, o de aquellas otras empresas que deciden hacerlo voluntariamente. Esto supone una pérdida de información, porque muchos usuarios no domésticos del servicio de agua en el municipio no son sociedades mercantiles.

Además, mientras la información suministrada por el Ayuntamiento de Zaragoza está referida a las plantas o instalaciones productivas, la información obtenida de SABI está referida a las cuentas de las empresas. Esto implica que nosotros debemos limitar

el estudio a aquellas empresas que solo tienen instalaciones en el municipio, eliminando aquellas que también desarrollan su actividad en el resto del territorio nacional o en otros países. Pese a esta pérdida de información, disponemos de una muestra de 8.615 empresas que operan en el municipio de Zaragoza en el periodo 1993-2012, y un total de 38.875 observaciones. Estos datos están anualizados porque la información económica que suministran las empresas tiene carácter anual, aunque los datos proporcionados por el Ayuntamiento están referidos a cada periodo de facturación (trimestral o mensual, según el tipo de usuario).

La muestra representa un importante porcentaje del conjunto de la actividad económica del municipio: el 11,33 % del empleo en 2012 [IAEST (2015)]. Además, la distribución del número de empleados por sectores de actividad en nuestra muestra es similar a la distribución de esa variable en el municipio (véase la Tabla 3.1).

Tabla 3.1: Comparación del número de empleados de la muestra con los del municipio de Zaragoza en 2012

	Agregado	Industria	Construcción	Servicios
Muestra	28.839 100 %	6.216 22 %	2.974 10 %	19.649 68 %
Municipio *	254.489 100 %	26.681 10 %	13.391 5 %	214.417 84 %

*Fuente: IAEST (2015).

Combinando los datos sobre la cantidad de agua utilizada aportados por el Ayuntamiento y la información sobre el sistema tarifario aplicado a los usuarios no domésticos (Ordenanza Fiscal 24.25 del Ayuntamiento de Zaragoza: “Tasa por la prestación de servicios vinculados al ciclo integral del agua”), calculamos el coste y precio del agua de cada empresa. Dada la complejidad del sistema tarifario y los importantes cambios que éste ha sufrido durante el periodo analizado, el detalle de cómo se ha realizado este proceso de cálculo se presenta en el Apéndice B.

En suma, disponemos de información sobre las siguientes variables: el coste y el precio del agua, el valor de la producción, el coste y el precio de los factores trabajo y capital, y el coste de los suministros.

Para el precio del agua, consideramos dos especificaciones: precio marginal y precio medio. El precio marginal del agua (P_{mg}) es el precio fijado en la tarifa por bloques crecientes para la última unidad consumida por cada empresa. El precio medio (P_m) es el obtenido dividiendo el gasto total de agua de cada empresa (suma de la cuota variable y la cuota fija) y la cantidad de agua que consume. Estas dos especificaciones implican distintas aproximaciones al coste del agua. Cuando usamos el precio marginal, el coste del agua incluye solo la cuota variable, mientras que cuando usamos el precio medio incluye tanto la cuota variable como la cuota fija.

El valor de la producción se ha aproximado a través de los ingresos de explotación, que es la suma de la cifra de las ventas y de los otros ingresos de explotación. El coste de producción es obtenido mediante la suma del coste de todos los factores productivos: agua, capital, trabajo y suministros.

El coste del factor trabajo se corresponde con los gastos de personal y su precio lo calculamos como el cociente entre dichos gastos y el número de empleados.

El coste del factor capital se calcula como la suma de los costes de la financiación propia (fondos propios) y de la financiación ajena (deuda). El precio del factor capital (P_k), definido como el coste medio ponderado del capital (WACC), se calcula como una media ponderada del coste de la financiación propia y ajena [Modigliani y Miller (1963), Miles y Ezzell (1980), Brealey *et al.* (2013)]:

$$P_k = \text{WACC} = \text{CUD} \left[\frac{D}{D + E} \right] + \text{CUE} \left[\frac{E}{D + E} \right] \quad (3.1)$$

donde CUD es coste unitario de la deuda después de impuestos, D es el valor de la deuda de la empresa (bonos y préstamos), E es el valor de los fondos propios de la empresa (capital y reservas), y CUE es el coste unitario de los fondos propios antes de impuestos.

El coste de los suministros se mide por el gasto en bienes y servicios intermedios. Dado que este concepto de gasto incluye una serie de factores productivos extremadamente heterogéneos (energía, materias primas, mercaderías, trabajos realizados por otras empresas y otros suministros diversos), el precio de los suministros es tratado como inobservable [Angulo *et al.* (2014)].

Todas las magnitudes monetarias están expresadas en términos reales. Para ello, se emplean los deflatores obtenidos a partir de los datos para Aragón de la Contabilidad Regional de España elaborada por el Instituto Nacional de Estadística [INE (2016)].

Finalmente, la información extraída de SABI nos permite clasificar las empresas de la muestra por sectores y ramas de actividad, de acuerdo con la Clasificación Nacional de Actividades Económicas (CNAE-2009) [INE (2009)], la cual es equivalente a la “International Standard Industrial Classification of All Economic Activities” (ISIC Rev. 4) de las Naciones Unidas. En este estudio hemos considerado tres sectores (industria, construcción y servicios) desagregados en 24 ramas de actividad cuyo detalle se ofrece en la Tabla 3.2.

La Tabla 3.3 recopila las principales magnitudes para el conjunto de empresas de la muestra y para los tres sectores considerados. En la Tabla D.1 del Apéndice D se ofrece el detalle por ramas de actividad. Estos datos ponen de manifiesto la fuerte heterogeneidad de las empresas de la muestra, puesto que hay una notable variabilidad no sólo entre sectores y ramas de actividad sino, también, dentro de ellos.

El tamaño de las empresas se caracteriza por un fuerte y continuo descenso, medido a través de los ingresos de explotación (pasa de 6.174.647 € por empresa en 1993 a 1.508.323 € en 2012), el número de empleados (pasa de 34,09 a 9,97) o los costes de

Tabla 3.2: Sectores y ramas de actividad incluidos en el estudio

Sector	Rama de actividad	Código CNAE-2009/ ISIC Rev. 4	Definición
Industria	2	10, 11, 12	Alimentación, bebidas y tabaco
	3	13, 14, 15	Textil, confección, cuero y calzado
	4	16, 17, 18	Madera y corcho, papel y artes gráficas
	5	19, 20, 21	Industria química y farmacéutica
	6	22	Caucho y materias plásticas
	7	23	Productos minerales no metálicos diversos
	8	24, 25	Metalurgia y fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipo
	9	26, 27	Material y equipo eléctrico, electrónico y óptico
	10	28	Maquinaria y equipo mecánico
	11	29, 30	Material de transporte
	12	31, 32, 33	Industrias manufactureras diversas, reparación e instalación de maquinaria y equipo
	Construcción	13	41, 42, 43
Servicios	14	45, 46, 47	Comercio
	15	49- 53	Transporte y almacenamiento
	16	55, 56	Hostelería
	17	58-63	Información y comunicaciones
	18	64, 65, 66	Actividades financieras y de seguros
	19	68	Actividades inmobiliarias
	20	69-75	Actividades profesionales, científicas y técnicas
	21	77-84	Actividades administrativas y servicios auxiliares
	22	85	Educación
	23	86, 87, 88	Actividades sanitarias y de servicios sociales
	24	90- 93	Actividades artísticas, recreativas y de entretenimiento
	25	94-99	Otros servicios

producción (pasan de 5.982.508 € a 1.593.836 €). Nuestra impresión es que esta drástica reducción no responde a la evolución de la economía del municipio, sino que se debe a la construcción de la base de datos de SABI. En los primeros años, esta base de datos estaba formada por un reducido número de grandes empresas (193 en 1993 para el municipio de Zaragoza). Progresivamente, se ha ido incrementando el número de empresas (llegando a 2.894 en 2012), con predominio de las pequeñas y medianas empresas. Este aumento en el número de empresas de la muestra es especialmente significativo entre 1993 y 1996 (incremento del 247 % para Zaragoza).

El tamaño medio de las empresas varía sustancialmente entre sectores. Las empresas industriales poseen un tamaño que prácticamente duplica el tamaño medio de la muestra,

Tabla 3.3: Principales magnitudes de la muestra.
Promedio por empresa para el periodo 1993-2012

	Agregado		Industria		Construcción		Servicios	
Número de registros	38.875		5.741		5.964		27.170	
Valor de la producción (€)	2.395.764	(11.400.000)	4.004.566	(10.400.000)	2.959.981	(8.645.385)	1.931.976	(12.100.000)
Coste de producción (€)	2.322.423	(11.200.000)	4.005.209	(10.300.000)	2.762.110	(8.751.372)	1.870.337	(11.800.000)
Participación en costes:								
Agua (%)	0,13	(0,41)	0,07	(0,22)	0,03	(0,10)	0,17	(0,47)
Capital (%)	4,54	(10,75)	2,84	(4,08)	5,47	(12,08)	4,69	(11,36)
Trabajo (%)	32,28	(18,88)	34,18	(15,44)	31,99	(17,93)	31,94	(19,70)
Suministros (%)	63,05	(20,44)	62,91	(15,63)	62,51	(19,33)	63,2	(21,55)
Precio:								
Agua:								
P_{mg} (€/m ³)	1,1	(0,71)	1,21	(0,77)	0,84	(0,49)	1,14	(0,72)
P_m (€/m ³)	4,02	(36,08)	3,25	(19,50)	6,26	(79,80)	3,68	(19,45)
Capital (%)	3,9	(15,88)	5,02	(11,79)	3,68	(9,72)	3,7	(17,62)
Trabajo (€/empleado)	27.576,24	(14.158,06)	29.972,34	(11.118,26)	31.965,50	(13.777,82)	26.106,47	(14.540,53)
Cantidad:								
Agua (m ³)	726,57	(10.272,05)	2.035,94	(25.617,75)	201,52	(2.722,49)	565,16	(3.201,19)
Capital (€)	2.363.638	(11.800.000)	2.883.626	(6.844.487)	4.656.808	(21.800.000)	1.750.398	(9.093.438)
Trabajo (no. empleados)	13,82	(37,26)	25,86	(50,34)	14,44	(25,42)	11,15	(35,66)

Nota: Entre paréntesis se muestra la desviación típica.
Los valores en € están expresados a precios de 2012.

mientras que en la construcción el tamaño medio es ligeramente superior a la media, y en los servicios es inferior a la media.

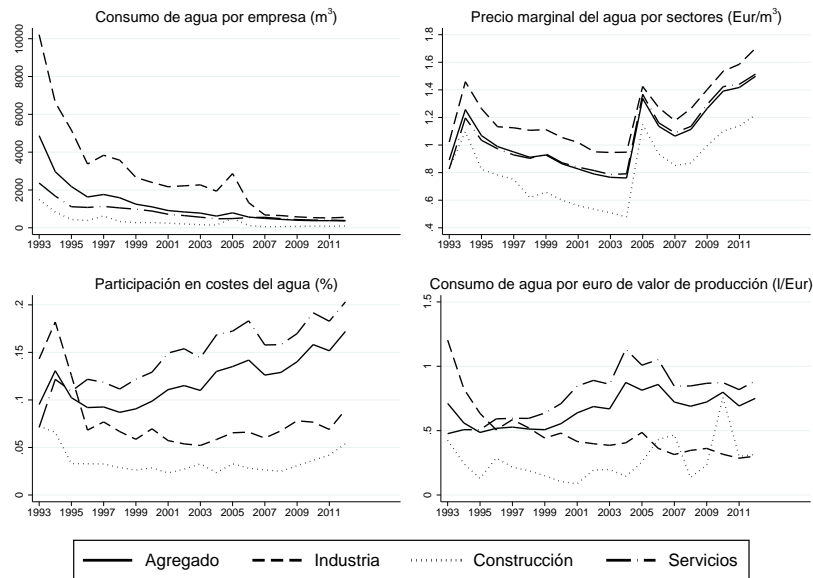
También existen importantes diferencias en la participación de los costes de los diferentes factores productivos en el coste total de producción. Así, el coste del agua representa un 0,17% del total de los costes en el sector servicios, un 0,07% en la industria y un 0,03% en la construcción.

La cantidad de agua utilizada en la industria es casi tres veces superior a la media de la muestra, mientras que en la construcción y los servicios se aprecia un uso de agua inferior a la media, especialmente en la construcción, donde es un 72% inferior a la media. Se observa que una mayor cantidad de agua consumida conlleva un mayor precio marginal y un menor precio medio, conforme a lo que cabe esperar con el sistema tarifario que grava el agua en el municipio.

La Figura 3.3 muestra la evolución de las principales magnitudes relacionadas con el uso de agua en las empresas de la muestra. El consumo medio de agua por empresa es continuamente decreciente, pasando de 4.873 m³ en 1993 a 367 m³ en 2012, con una reducción especialmente significativa durante los tres primeros años (-66,5%). La evolución de los tres sectores es muy similar, aunque con una reducción más intensa en el sector

industrial. De nuevo, la evolución de esta magnitud está fuertemente condicionada por la composición de la muestra.

Figura 3.3: Evolución de las principales magnitudes de uso de agua por sectores.
Media anual para 1993-2012



La media del precio marginal del agua del total de la muestra en 1993, en términos reales, era de 0,89 €/m³. Tras un fuerte incremento del 41 % el primer año, la serie sufre un continuo descenso hasta 2004, cuando el precio es de 0,76 €/m³. La reforma tarifaria de 2005 incrementa el precio marginal del agua en un 75,7 % en un solo año. Tras un ligero ajuste en los dos años posteriores a la reforma, el precio marginal del agua experimenta un progresivo y considerable incremento hasta llegar al máximo de 1,50 €/m³ en 2012. La evolución de los tres sectores es muy similar, aunque con diferentes niveles de precio.

La participación del agua en el coste total de producción aumenta de 0,09 % en 1993 a 0,17 % en 2012. Se observa un comportamiento diferenciado entre el sector servicios, que experimenta un continuo incremento de la participación de los costes del agua (del 0,07 al 0,20 %), y los sectores de la industria y la construcción, donde esa participación se reduce notablemente los primeros años y después aumenta moderadamente hasta alcanzar el 0,09 % en la industria y el 0,05 % en la construcción.

El consumo de agua por euro de valor de producción también muestra un comportamiento diferenciado entre sectores. En la industria, se observa una reducción del consumo unitario de agua, pasando de 1,20 l/€ en 1993 a 0,30 l/€ en 2012. En contraste, el consumo de agua por unidad de valor de producción en el sector servicios aumenta de 0,48 a 0,89 l/€, alcanzando su máximo en el año 2010 con 1,13 l/€. En el sector de la construcción, se observa un comportamiento más volátil, con una tendencia decreciente

hasta el año 2001 (de 0,42 a 0,09 l/€) y creciente en los años posteriores, hasta alcanzar 0,31 l/€ en 2012.

3.4 Especificación del modelo

Nuestro modelo parte de una función de producción en la que el agua (W) es un *input* más del proceso productivo, junto con el capital (K), el trabajo (L) y los suministros (S). Asumiendo la exogeneidad de los precios de los factores y el nivel de producción, la teoría de la dualidad permite representar esta función de producción a través de una función de costes.

Elegimos una función de costes *translog*, que es la más empleada en los estudios empíricos en esta materia ya que es parsimoniosa, flexible, homogénea en precios y permite especificar una tecnología multi-producto [Reynaud (2003)]. La función de costes *translog* [Christensen *et al.* (1971, 1973)] se especifica del siguiente modo:

$$\begin{aligned} \ln G = & \alpha + \alpha_Y \ln Y + \sum_{i=1}^4 \alpha_i \ln p_i + \frac{1}{2} \alpha_{YY} (\ln Y)^2 \\ & + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 \alpha_{ij} \ln p_i \ln p_j + \sum_{i=1}^4 \alpha_{Yi} \ln Y \ln p_i \end{aligned} \quad (3.2)$$

con $i, j = W, K, L, S$ y donde G es el coste total de producción, Y es el valor de producción, y p_i es el precio del *input* i .

A partir de la ecuación (3.2), aplicando el lema de Shephard, obtenemos las funciones de demanda de *inputs* minimizadoras de costes o funciones de participación en costes:

$$\frac{\partial \ln G}{\partial \ln p_i} = w_i = \alpha_i + \alpha_{Yi} \ln Y + \sum_{j=1}^4 \alpha_{ij} \ln p_j \quad (3.3)$$

siendo $i = W, K, L, S$.

La función de costes debe cumplir las hipótesis de simetría en precios y homogeneidad de grado 1 en precios y *output*, lo que implica imponer las siguientes restricciones a los parámetros de las ecuaciones (3.2) y (3.3):

$$\begin{aligned} \alpha_{ij} &= \alpha_{ji} \\ \sum_{i=1}^4 \alpha_i &= 1; \sum_{i=1}^4 \alpha_{Yi} = 0; \sum_{j=1}^4 \alpha_{ij} = 0; \sum_{i=1}^4 \alpha_{ij} = 0 \end{aligned} \quad (3.4)$$

con $i, j = W, K, L, S$.

Puesto que no hay un consenso sobre si es más conveniente estimar la función de costes o las funciones de participación en coste de cada *input*, optamos por estimar conjuntamente ambas funciones con un modelo SURE, obteniendo estimaciones más eficientes [Guilkey y Lovell (1980)]. Este planteamiento ha sido ampliamente usado en la literatura [Greibenstein y Field (1979), Babin *et al.* (1982), Dupont y Renzetti (2001), Renzetti y Dupont (2003), Dachraoui y Harchaoui (2004), Féres y Reynaud (2005), Guerrero (2005), Linz y Tsegai (2009), Angulo *et al.* (2014)].

A partir de este modelo es posible calcular la elasticidad precio directa (ε_{ii}) de cada *input* del siguiente modo:

$$\varepsilon_{ii} = \frac{\alpha_{ii} + w_i^2 - w_i}{w_i} \quad (3.5)$$

También es posible analizar la relación de sustituibilidad o complementariedad entre los diferentes *inputs* a través de la elasticidad de sustitución de Morishima (M_{ij} y M_{ji}), que se define del siguiente modo:

$$\begin{aligned} M_{ij} &= \varepsilon_{ji} - \varepsilon_{ii} \\ M_{ji} &= \varepsilon_{ij} - \varepsilon_{jj} \end{aligned} \quad (3.6)$$

siendo:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{ii} &= \frac{\alpha_{jj} + w_j^2 - w_j}{w_j} \\ \varepsilon_{ij} &= \frac{\alpha_{ij} + w_i w_j}{w_i} \\ \varepsilon_{ji} &= \frac{\alpha_{ji} + w_i w_j}{w_j} \end{aligned}$$

Por último, la elasticidad de la demanda de un factor i respecto del *output* (μ_{iY}) se calcula del siguiente modo:

$$\mu_{iY} = \frac{\partial Q_i}{\partial Y} \cdot \frac{Y}{Q_i} = \frac{\alpha_{Yi}}{w_i} + \eta_Y \quad (3.7)$$

donde η_Y representa la elasticidad del coste con respecto al *output*.

En nuestro caso, a diferencia de lo que ocurre en la mayor parte de la literatura que se ocupa del uso del agua en actividades económicas [a excepción de los trabajos de Ziegler y Bell (1984), Williams y Suh (1986) y Vallés y Zárata (2013)], tenemos información de dos especificaciones del precio del agua: precio medio y precio marginal. La disponibilidad de esta información es esencial para participar en el debate sobre la especificación del precio de este recurso. De acuerdo a la teoría económica, un usuario racional, con infor-

mación perfecta, tomará sus decisiones de consumo de acuerdo con el precio marginal. Sin embargo, algunos autores que han analizado la demanda de agua de los hogares defienden el uso del precio medio debido a que no estamos en un contexto de información perfecta [Foster y Beattie (1981), Opaluch (1982), Shin (1985), Nieswiadomy y Molina (1991)].

Para tratar de avanzar en esta línea, estimamos el precio percibido (P_p), propuesto por Shin (1985) en el contexto de los precios de la electricidad y empleado por Arbués *et al.* (2010a) para el caso del agua industrial. Con la misma finalidad, aplicamos varios criterios de selección de modelos utilizados habitualmente en la literatura.

El precio percibido es una combinación de los dos precios, marginal y medio, del siguiente modo:

$$P_p = P_{mg} (P_m/P_{mg})^k \quad (3.8)$$

donde k es el parámetro de percepción del precio. Si $k = 0$ el usuario responde sólo al precio marginal, y si $k = 1$ sólo responde al precio medio. En otro caso, la interpretación de k depende de la estructura de la tarifa [Nieswiadomy y Molina (1991)]. En el caso de Zaragoza, en que tenemos una tarifa progresiva con una cuota fija elevada, si $0 < k < 1$ entonces $P_{mg} < P_p < P_m$, si $k < 0$ entonces $P_p < P_{mg} < P_m$, y si $k > 1$ entonces $P_{mg} < P_m < P_p$.

3.5 Estimación econométrica

Nuestro modelo depende, entre otras cosas, de la especificación del precio del agua. Si utilizamos un precio del agua observado (precio marginal y precio medio), la ecuación de referencia es la (3.2). Si optamos por el precio percibido, la ecuación de referencia es la (C.1) del Apéndice C. Centrándonos en el primer caso, y dado que tenemos datos de tipo panel, el primer paso consistirá en examinar si resulta preferible un modelo *pool* o debemos ir a un modelo panel propiamente dicho. En este segundo caso, debemos discutir si se opta por un modelo de efectos fijos o uno de efectos aleatorios.

Supuesto que los datos constan de $n = 1, 2, \dots, N$ unidades en la sección cruzada y $t = 1, 2, \dots, T$ observaciones temporales, el modelo *pool* puede expresarse del siguiente modo:

$$y_t = x_t \beta + \varepsilon_t \quad (3.9)$$

donde y_t es un vector ($N \times 1$) de observaciones de la variable explicada, x_t es una matriz ($N \times k$) de observaciones de las variables explicativas, en ambos casos en el periodo t . β es un vector de k parámetros desconocidos y ε_t es un vector ($N \times 1$) de términos aleatorios que asumimos se distribuye como un ruido blanco $\varepsilon_t \sim iiN(0, \sigma^2 I)$.

El modelo de datos de panel permite la existencia de efectos individuales o temporales no observados en la muestra, lo que se traduce en una fuerte heterogeneidad entre

los individuos y/o periodos temporales. Ello aconseja introducir un total de N parámetros individuales en el vector μ (o T términos temporales en el vector λ) para flexibilizar la especificación de (3.9):

$$y_t = \mu + \lambda + x_t\beta + \varepsilon_t \quad (3.10)$$

En este contexto, μ puede ser considerado un vector de parámetros fijos o puede ser tratado como un vector de términos aleatorios con una distribución normal $\mu \sim N[0, \sigma_\mu^2 I_N]$; la misma consideración tiene λ . En el primer caso, estaremos ante un modelo de efectos fijos y, en el segundo, ante uno de efectos aleatorios [Hsiao (2003)].

Para determinar la conveniencia de usar un modelo *pool* o uno de efectos aleatorios empleamos el test de Breusch-Pagan. Para contrastar la idoneidad de un modelo *pool* o uno de efectos fijos utilizamos el test F de homogeneidad en los parámetros. Por último, para elegir entre el modelo de efectos aleatorios y el de efectos fijos recurrimos al test de Hausman (1978). Los resultados obtenidos pueden verse en la Tabla 3.4, mostrando una fuerte evidencia a favor del modelo de efectos fijos.

Además de los efectos individuales, también existen efectos no observados de carácter temporal, como se comprueba en la Tabla 3.4 con el test F de significatividad conjunta de las variables *dummy* temporales. Incorporamos también una variable de tendencia en estas ecuaciones para captar, aunque sea de forma grosera, la evolución de la tecnología ahorradora de agua.

Tabla 3.4: Contrastes de especificación del modelo

	Test de Breuch-Pagan	Test de Homogeneidad	Test de Hausman	Test de Efectos temporales
	H ₀ : Modelo <i>pool</i> H ₁ : Efectos aleatorios	H ₀ : Modelo <i>pool</i> H ₁ : Efectos fijos	H ₀ : Efectos aleatorios H ₁ : Efectos fijos	H ₀ : No significatividad conjunta de las <i>dummies</i> temporales H ₁ : Significatividad conjunta de las <i>dummies</i> temporales
Agregado	22.418,96 (0,00)	11,54 (0,00)	2.502,79 (0,00)	8,33 (0,00)
Industria	2.671,97 (0,00)	9,85 (0,00)	975,47 (0,00)	9,42 (0,00)
Construcción	1.273,94 (0,00)	11,13 (0,00)	478,36 (0,00)	17,25 (0,00)
Servicios	24.757,46 (0,00)	10,63 (0,00)	1.450,98 (0,00)	4,32 (0,00)

Nota: Entre paréntesis se muestra el p-valor.

El último paso es la estimación conjunta de las ecuaciones especificadas en (3.2) y (3.3) mediante un enfoque SUR para asegurar el cumplimiento de las restricciones descritas en (3.4), en las que incluimos efectos no observados temporales e individuales. Además, con el fin de evitar problemas de simultaneidad, debidos a que el precio del agua está endógenamente determinado por la cantidad de agua empleada, este precio está

retardado un periodo [Dachraoui y Harchaoui (2004), Angulo *et al.* (2014)]. Los resultados de esta estimación para el agregado de empresas, especificando el precio del agua a través del precio marginal y del precio medio, pueden verse en la segunda y tercera columna de la Tabla 3.5.

Los parámetros tienen el signo esperado y son en su mayoría estadísticamente significativos. El coeficiente negativo y significativo de la variable de tendencia temporal en la ecuación de participación en coste del agua corrobora que el progreso técnico ha contribuido a la reducción del uso de este factor. Esto está en la línea de los resultados obtenidos en la literatura [De Rooy (1974), Ziegler y Bell (1984), Dupont y Renzetti (2001), Renzetti y Dupont (2003), Vallés y Zárata (2013), Angulo *et al.* (2014)].

La cuarta columna de la Tabla 3.5 presenta los resultados obtenidos para el caso del precio percibido. Nuestra impresión es que, como se detalla con mayor profundidad en el Apéndice C, las estimaciones del parámetro k (parámetro de percepción del precio) no son lo suficientemente precisas para hacer inferencias consistentes. Por tanto, preferimos dejar la discusión relativa al precio percibido en este punto.

Siguiendo la línea de trabajos como los de Ziegler y Bell (1984) y Williams y Suh (1986), entre otros, recurrimos al test J y a los criterios de selección de modelos C_p de Mallows (1973) y AIC de Akaike (1974) para determinar si es más conveniente especificar el precio del agua a través del precio marginal o del precio medio. Los resultados, que se encuentran en la Tabla 3.6, muestran que el test J no es concluyente. Sin embargo, los otros dos criterios de selección de modelos proporcionan evidencia a favor de la utilización del precio marginal del agua.

Nuestro resultado está en línea con el obtenido por Williams y Suh (1986), en el ámbito del agua para actividades productivas, y por Gibbs (1978), Nieswiadomy y Molina (1991), Barkatullah (1996) y Baerenklau *et al.* (2014) en el ámbito del agua para usos domésticos. Sin embargo, otros autores han encontrado que los usuarios responden al precio medio, como es el caso de Ziegler y Bell (1984) para el agua industrial y de Foster y Beattie (1981), Jones y Morris (1984), Nieswiadomy (1992), Nieswiadomy y Cobb (1993), Kulshreshtha (1996), Arbués *et al.* (2004) y Wichman (2014) para el agua doméstica, o incluso que no existen diferencias significativas entre ambas especificaciones [Polzin (1984)].

Tabla 3.5: Estimación del modelo

	P_{mg}	P_m	P_p
ln G			
α	0,04116 (0,00)	0,05310 (0,00)	0,05301 (0,00)
Trend	-0,00273 (0,00)	-0,00382 (0,00)	-0,00379 (0,00)
ln Y	0,25553 (0,00)	0,24832 (0,00)	0,24859 (0,00)
(ln Y) ²	0,08986 (0,00)	0,09005 (0,00)	0,09006 (0,00)
ln P_W	0,00031 (0,02)	0,00034 (0,03)	0,00019 (0,24)
ln P_K	0,05120 (0,00)	0,06209 (0,00)	0,06210 (0,00)
ln P_L	0,00053 (0,86)	0,00267 (0,44)	0,00267 (0,44)
ln P_W ln P_W	0,00015 (0,00)	0,00001 (0,61)	0,00016 (0,00)
ln P_K ln P_K	0,01321 (0,00)	0,01341 (0,00)	0,01342 (0,00)
ln P_L ln P_L	0,09301 (0,00)	0,09262 (0,00)	0,09265 (0,00)
ln P_W ln P_K	0,00001 (0,46)	0,00000 (0,95)	0,00001 (0,51)
ln P_W ln P_L	-0,00001 (0,86)	-0,00010 (0,12)	-0,00009 (0,19)
ln P_K ln P_L	0,00206 (0,00)	0,00187 (0,00)	0,00185 (0,00)
ln Y ln P_W	-0,00018 (0,00)	-0,00032 (0,00)	-0,00041 (0,00)
ln Y ln P_K	0,00155 (0,00)	0,00092 (0,00)	0,00093 (0,00)
ln Y ln P_L	-0,06592 (0,00)	-0,06579 (0,00)	-0,06582 (0,00)
W_W			
α	0,00031 (0,02)	0,00034 (0,03)	0,00019 (0,24)
Trend	-0,00002 (0,08)	-0,00001 (0,39)	0,00000 (0,78)
ln Y	-0,00018 (0,00)	-0,00032 (0,00)	-0,00041 (0,00)
ln P_W	0,00015 (0,00)	0,00001 (0,61)	0,00016 (0,00)
ln P_K	0,00001 (0,46)	0,00000 (0,95)	0,00001 (0,51)
ln P_L	-0,00001 (0,86)	-0,00010 (0,12)	-0,00009 (0,19)
W_K			
α	0,05120 (0,00)	0,06209 (0,00)	0,06210 (0,00)
Trend	-0,00386 (0,00)	-0,00487 (0,00)	-0,00487 (0,00)
ln Y	0,00155 (0,00)	0,00092 (0,00)	0,00093 (0,00)
ln P_W	0,00001 (0,46)	0,00000 (0,95)	0,00001 (0,51)
ln P_K	0,01321 (0,00)	0,01341 (0,00)	0,01342 (0,00)
ln P_L	0,00206 (0,00)	0,00187 (0,00)	0,00185 (0,00)
W_L			
α	0,00053 (0,86)	0,00267 (0,44)	0,00267 (0,44)
Trend	-0,00030 (0,28)	-0,00049 (0,12)	-0,00049 (0,12)
ln Y	-0,06592 (0,00)	-0,06579 (0,00)	-0,06582 (0,00)
ln P_W	-0,00001 (0,86)	-0,00010 (0,12)	-0,00009 (0,19)
ln P_K	0,00206 (0,00)	0,00187 (0,00)	0,00185 (0,00)
ln P_L	0,09301 (0,00)	0,09262 (0,00)	0,09265 (0,00)

Nota: Entre paréntesis se muestra el p-valor.

Tabla 3.6: Criterios de selección de modelos

		Agregado	Industria	Construcción	Servicios
Test J	H_0 : <i>precio marginal</i> *	6,19 (0,00)	2,63 (0,00)	3,08 (0,00)	5,67 (0,00)
	H_0 : <i>precio medio</i> **	5,21 (0,00)	4,95 (0,00)	6,11 (0,00)	6,13 (0,00)
Cp Mallows	<i>Precio marginal</i>	26.507,72	4.366,65	3.869,40	18.208,14
	<i>Precio medio</i>	26.510,30	4.373,78	3.883,15	18.218,51
AIC	<i>Precio marginal</i>	-58.309,98	-11.371,40	-8.131,71	-40.491,00
	<i>Precio medio</i>	-58.306,90	-11.363,20	-8.114,93	-40.478,50

Nota: Entre paréntesis se muestra el p-valor.

* H_0 : precio marginal significa que el modelo correcto es el que incorpora el precio marginal del agua.

** H_0 : precio medio significa que el modelo correcto es el que incorpora el precio medio del agua.

3.6 Resultados y discusión

La elasticidad precio directa de cada uno de los *inputs* que intervienen en el proceso productivo, la elasticidad de la demanda de agua con respecto al nivel de producción y las elasticidades cruzadas entre los distintos *inputs* se recogen en las Tablas 3.7 y 3.8, para el agregado de empresas y los tres sectores considerados. Estas elasticidades han sido calculadas aplicando las ecuaciones (3.5), (3.6) y (3.7), partiendo de los resultados de la estimación presentados en la Tabla 3.5.

Tabla 3.7: Elasticidades directas y elasticidad *output*

	$E_{WW}(P_{mg})$	$E_{WW}(P_m)$	E_{KK}	E_{LL}	E_{SS}	E_{WY}
Agregado	-0,86 (0,00)	-0,99 (0,00)	-0,66 (0,00)	-0,39 (0,00)	-0,19 (0,00)	0,73 (0,00)
Industria	-0,52 (0,03)	-0,94 (0,00)	-0,46 (0,00)	-0,37 (0,00)	-0,19 (0,00)	-0,37 (0,15)
Construcción	-0,58 (0,69)	-0,93 (0,00)	-0,82 (0,00)	-0,32 (0,00)	-0,13 (0,00)	2,58 (0,01)
Servicios	-0,88 (0,00)	-1,00 (0,00)	-0,64 (0,00)	-0,42 (0,00)	-0,22 (0,00)	0,83 (0,00)

Nota: Entre paréntesis se muestra el p-valor.

Para calcular la elasticidad directa del agua se han utilizado dos especificaciones del precio del agua. En estos dos escenarios, la demanda de agua es normal e inelástica (elasticidad inferior a la unidad) para el agregado de empresas y los tres sectores considerados. La elasticidad directa del agua es mayor cuando empleamos el precio medio que cuando empleamos el precio marginal. Este resultado es habitual en la literatura [Ziegler y Bell (1984), Williams y Suh (1986), Vallés y Zárata (2013)] y resulta razonable en un escenario en el que el precio medio es muy superior al precio marginal, como es el caso que nos ocupa en este estudio.

En la sección anterior, a través de criterios de selección de modelos, hemos encontrado evidencia a favor de la utilización del precio marginal. Por ello, en lo sucesivo, vamos a centrar la discusión únicamente en el precio marginal. En este caso, la elasticidad precio directa del agua es -0,86 para el agregado, -0,52 para la industria y -0,88 para los servicios, en tanto que la elasticidad para la construcción no es significativa. La mayor elasticidad precio obtenida para los servicios, en comparación con el sector industrial, está en línea con lo obtenido por Bell y Griffin (2008) y Gómez-Ugalde *et al.* (2012), aunque difiere con lo obtenido por Williams y Suh (1986) y Reynaud (2003), y es coherente con la mayor participación en costes del agua observada en el sector servicios. La elasticidad obtenida para el sector industrial está en la parte media del rango de elasticidades obtenidas en la literatura, mientras que la calculada en el sector servicios se encuentra en el rango alto. La falta de significatividad del precio del agua en el sector de la construcción no es contrastable con la literatura, ya que hasta la fecha no había sido objeto de análisis.

El detalle de las elasticidades por ramas de actividad se puede consultar en las tablas D.2 y D.3 del Apéndice D. Los resultados nos muestran, en primer lugar, que hay un notable número de ramas de actividad (ramas 3-12, 15, 17-18, 20-22) en las que la demanda de agua no depende del precio del recurso. Lo cual se observa también en los trabajos que han calculado elasticidades por ramas de actividad [Babin *et al.* (1982), Renzetti (1993), Reynaud (2003), Angulo *et al.* (2014)]. Por regla general, las elasticidades no significativas se hallan en los sectores con una menor participación en costes del agua. En estos sectores, las políticas destinadas a incentivar un uso más eficiente del recurso a través del incremento del precio del agua no tendrían efecto. Pero, en cambio, esto facilita el incremento de la recaudación para la financiación de los costes de prestación del servicio.

Para el resto de ramas de actividad, la elasticidad precio directa del agua varía entre -0,62 (rama 2: alimentación, bebidas y tabaco) y -1,24 (rama 19: actividades inmobiliarias), siendo esta última rama de actividad la única con una demanda de agua elástica.

Entre las actividades manufactureras, la rama 2 (alimentación, bebidas y tabaco) es la única en la que la elasticidad precio resulta estadísticamente significativa. Esto es coherente con los resultados obtenidos por la literatura, donde la industria de alimentación y bebidas es, frecuentemente, la rama manufacturera con una mayor elasticidad [Renzetti (1993), Dupont y Renzetti (1998), Malla y Gopalakrishnan (1999), Guerrero (2005), Canizales y Bravo (2011)].

El resto de ramas de actividad en las cuales las elasticidades precio son significativas pertenecen al sector servicios. Resulta difícil comparar estos resultados con los obtenidos en la literatura, ya que los trabajos que han centrado su atención en el sector servicios no suelen ofrecer resultados desagregados por ramas de actividad. Además, la mayoría han centrado su atención únicamente en las actividades comerciales [Lynne (1977), Lynne *et al.* (1978)], de ocio [Moeltner y Stoddard (2004)], y en la hostelería [Lynne (1977), Lynne *et al.* (1978), Moeltner y Stoddard (2004), Angulo *et al.* (2014)]. Estos trabajos han encontrado que hay un impacto significativo del precio sobre la demanda de agua. Las elasticidades obtenidas en nuestro estudio para las actividades de ocio (rama 24) y hostelería (rama 16) son superiores a las obtenidas en esos trabajos previos, mientras que la obtenida para el comercio (rama 14) son inferiores.

Con respecto a los demás factores productivos, también se observa una demanda normal e inelástica, siendo su elasticidad inferior a la obtenida para el agua. La mayor elasticidad precio directa es para el capital (-0,66), seguida del trabajo (-0,39) y, por último, los suministros (-0,19). El valor de estas elasticidades no es muy diferente del obtenido en la literatura [Babin *et al.* (1982), Dupont y Renzetti (2001), Féres y Reynaud (2005), Kumar (2006), Linz y Tsegai (2009), Angulo *et al.* (2014)]. Los resultados por sectores y por ramas de actividad siguen el mismo patrón, siendo las elasticidades, en todos los casos, significativas, negativas e inferiores a la unidad. En general, una mayor participación en costes de un factor conlleva una mayor elasticidad de la demanda de ese factor.

La demanda de agua también se ve condicionada por el nivel de producción, siendo la elasticidad con respecto al *output* de 0,73 para el agregado. En todos los sectores, excepto en la industria (donde el impacto no es significativo), la elasticidad *output* es positiva, señalando que un mayor nivel de producción lleva asociado un mayor uso de agua. Esta relación es más pronunciada en el sector de la construcción que en los servicios, siendo las elasticidades *output* 2,58 y 0,83, respectivamente. La elasticidad *output* del sector servicios es de las más elevadas que se han obtenido en los estudios que se ocupan de este sector [Williams y Suh (1986), Gómez-Ugalde *et al.* (2012), Angulo *et al.* (2014)].

Los resultados por ramas de actividad nos muestran, de nuevo, que en muchas de ellas (prácticamente las mismas que en el caso del precio del agua: 3-12, 15, 17, 20-22), el nivel de producción no afecta significativamente al volumen de agua demandado. En aquellas ramas en las que la elasticidad *output* es significativa, ésta varía entre 0,62 (rama 16: hostelería) y 5,39 (rama 18: actividades financieras y de seguros); valores elevados en comparación con los obtenidos en la literatura.

Las elasticidades de Morishima que se muestran en la Tabla 3.8 indican que todos los factores productivos son sustitutivos, tanto para el agregado como para los tres sectores en que éste se divide. Esta relación de sustituibilidad es, en general, significativa y más pronunciada en los servicios que en la industria. No obstante, en el sector de la construcción no existe una relación significativa entre el agua y el resto de *inputs*.

Tabla 3.8: Elasticidades de Morishima

	M _{KW}	M _{LW}	M _{SW}	M _{WK}	M _{LK}	M _{SK}	M _{WL}	M _{KL}	M _{SL}	M _{WS}	M _{KS}	M _{LS}
Agregado	0,72 (0,00)	0,70 (0,00)	0,68 (0,00)	0,86 (0,00)	0,76 (0,00)	0,49 (0,00)	0,86 (0,00)	0,72 (0,00)	0,53 (0,00)	0,86 (0,00)	0,68 (0,00)	0,56 (0,00)
Industria	0,46 (0,00)	1,06 (0,04)	0,03 (0,95)	0,52 (0,03)	0,74 (0,00)	0,29 (0,00)	0,52 (0,03)	0,49 (0,00)	0,53 (0,00)	0,52 (0,03)	0,47 (0,00)	0,56 (0,00)
Construcción	1,02 (0,19)	5,99 (0,02)	-5,15 (0,08)	0,58 (0,69)	0,88 (0,00)	0,39 (0,00)	0,59 (0,69)	0,91 (0,00)	0,36 (0,00)	0,58 (0,69)	0,84 (0,00)	0,43 (0,00)
Servicios	0,69 (0,00)	0,69 (0,00)	0,78 (0,00)	0,88 (0,00)	0,73 (0,00)	0,55 (0,00)	0,88 (0,00)	0,68 (0,00)	0,59 (0,00)	0,88 (0,00)	0,66 (0,00)	0,61 (0,00)

Nota: Entre paréntesis se muestra el p-valor.

La sustituibilidad entre el agua y el capital está en línea con los resultados obtenidos por los estudios previos [Dupont y Renzetti (2001), Dachraoui y Harchaoui (2004), Féres y Reynaud (2005), Kumar (2006), Linz y Tsegai (2009), Angulo *et al.* (2014)]. La relación entre el agua y el trabajo también está en línea con la literatura [De Rooy (1974), Grebenstein y Field (1979), Babin *et al.* (1982), Dupont y Renzetti (2001), Dachraoui y Harchaoui (2004), Féres y Reynaud (2005), Guerrero (2005), Linz y Tsegai (2009), Angulo *et al.* (2014)]. Sin embargo, con respecto a la relación entre el agua y los suministros, los resultados obtenidos por otros estudios son controvertidos, ya que algunos encuentran que tal relación es de complementariedad y otros encuentran que es de sustituibilidad. El análisis por ramas de actividad revela, también en este caso, que en un elevado número ellas el precio de los *inputs* no afecta a la demanda de agua (ramas 3-12, 15,17, 18, 20-22, las mismas que en el caso de la elasticidad precio directa del agua). En las demás ramas, el agua y el resto de *inputs* son sustitutivos.

3.7 Conclusiones

Este capítulo ha analizado la demanda de agua para actividades productivas en un entorno urbano, abarcando los sectores de industria, construcción y servicios, y descendiendo al detalle de 24 ramas de actividad. En concreto, se ha estimado el efecto que tienen el precio del agua, el precio de otros *inputs* y el nivel de producción sobre la cantidad demandada de agua.

Entre los rasgos del estudio que le dotan de un especial interés, cabe destacar: la amplitud de las actividades productivas analizadas y su nivel de desagregación sectorial; el empleo de un panel de microdatos obtenido a partir de una muy amplia muestra de empresas (8.615); la relevancia del caso de estudio (el municipio de Zaragoza) en el contexto de los conflictos en torno al uso y gestión del agua; y el rigor con el que se ha acometido la estimación, basada en la especificación de una función de costes *translog*.

La utilización de un panel de microdatos nos ha permitido analizar el comportamiento individual de los agentes, evitando el posible sesgo de agregación que se da cuando los individuos no son suficientemente homogéneos. Al respecto, hemos comprobado la existencia de una fuerte heterogeneidad entre sectores y ramas de actividad que justifica su análisis desagregado. A su vez, la disponibilidad de microdatos nos ha permitido conocer los verdaderos precios marginal y medio del agua a los que se enfrentan las empresas y analizar cuál de esas especificaciones resulta más adecuada para modelizar la demanda de agua de las actividades productivas. A este respecto, tras comprobar que la utilización del precio percibido propuesto por Shin (1985) no resuelve el debate en este caso, la utilización de varios test de selección de modelos proporciona evidencia a favor del uso del precio marginal. El análisis de los resultados del uso de una u otra especificación muestra que los estudios que usan el precio medio están sobreestimando la elasticidad de la demanda.

Si atendemos a los resultados obtenidos para el agregado de las actividades productivas, encontramos que la demanda de agua es inelástica (la elasticidad precio directa es $-0,86$), pero lo suficientemente elevada para permitir a los decisores públicos utilizar el precio del agua como instrumento para incentivar la conservación del recurso. Por tanto, aporta nueva evidencia para seguir insistiendo en el uso de los precios como instrumento de gestión de la demanda de agua, en línea con la Directiva Marco del Agua. A su vez, dado que la elasticidad es inferior a la unidad, comprobamos que el incremento de precios también permite incrementar los ingresos por la prestación del servicio de suministro de agua potable y tratamiento de aguas residuales en caso de que los decisores públicos lo consideren necesario.

La elasticidad de la demanda de agua respecto al *output* ($0,73$) indica que la cantidad demandada varía en el mismo sentido que el nivel de producción y que lo hace en una proporción muy relevante. Esto implica que una adecuada planificación de la capacidad del servicio de suministro de agua y tratamiento de aguas residuales deberá basarse en previsiones rigurosas de la evolución del nivel de actividad económica. Pero también implica que el objetivo de reducción del consumo de agua no puede lograrse recurriendo sólo a la política de precios y que requiere del uso de otras medidas para reducir el impacto negativo del crecimiento económico, por ejemplo, incentivando la adopción de tecnologías más eficientes en el uso de agua por parte de las empresas.

Las elasticidades de sustitución entre *inputs* muestran una clara relación de sustituibilidad entre factores productivos. Al respecto, se comprueba que el incremento relativo del precio de los demás factores productivos contribuye a que aumente el uso de agua. Por tanto, los decisores públicos deberán estar atentos a los cambios en los precios relativos de los factores productivos y a su incidencia en la demanda de agua.

Los resultados varían notablemente entre sectores y ramas de actividad, aunque existe un patrón de comportamiento que les da sentido. Así, la mayor o menor participación del gasto en agua en los costes totales tiende a determinar si el precio del agua, el *output* y el precio de los otros *inputs* influyen o no significativamente en la cantidad de agua demandada. En concreto, en los sectores y ramas de actividad con menor participación del gasto en agua, precios y *output* no tienen, generalmente, una influencia estadísticamente

significativa en la demanda, al contrario de lo que sucede en los sectores y ramas con mayor participación del gasto en agua. Por tanto, el incremento del precio del agua sólo es eficaz para reducir el consumo en unas pocas ramas de actividad. En estas condiciones, si se quiere que todas las ramas contribuyan a la reducción del consumo, el manejo de los precios debería complementarse con otros instrumentos como la regulación, estableciendo estándares técnicos para los equipamientos consumidores de agua, o el apoyo financiero a la innovación tecnológica en este tipo de equipamientos. Además, la búsqueda de instrumentos alternativos va a ser cada vez más necesaria, dado que la participación del gasto en agua tiende a disminuir con el transcurso del tiempo, según se desprende del signo del coeficiente de la variable tendencia en la estimación del modelo.

Apéndices

B Cálculo de la factura y los precios del agua en el municipio de Zaragoza

En este apéndice detallamos cómo hemos calculado el gasto en agua de las empresas y los precios marginal y medio que soportan. El punto de partida es la información suministrada por el Ayuntamiento de Zaragoza sobre la cantidad de agua registrada en los contadores ubicados en las instalaciones productivas conectadas a la red municipal, sobre el número de días transcurridos entre cada lectura de contador (periodo de facturación) y sobre la ubicación de las instalaciones, así como la información sobre el sistema tarifario aplicado, tomada de las Ordenanzas municipales. Para ello, distinguimos tres periodos:

1. 1993-1995:

El sistema tarifario que grava el agua se componía de dos cuotas fijas y dos cuotas variables, una para abastecimiento y otra para saneamiento. Las cuotas variables se obtenían aplicando una tarifa por bloques creciente, de modo que el precio de una unidad de consumo adicional se incrementa cuando el consumo supera el límite superior de un bloque y accede al bloque siguiente.

La cuota fija de abastecimiento (CFTA) y la cuota fija de saneamiento (CFTS) dependían del calibre del contador. Para calibres de hasta 20 mm la cuota dependía también de la categoría de la calle en que se ubica la planta productiva: especial, 1ª, 2ª y 3ª. Las ordenanzas municipales informan de la cuota fija diaria (CFDA y CFDS) que corresponde a cada calibre de contador y categoría de calle. Para calcular la CFTA y la CFTS hemos hecho el producto de la cuota fija diaria correspondiente a cada instalación productiva por el número de días de cada periodo de facturación:

$$\begin{aligned} \text{CFTA} &= \text{CFDA} \cdot \text{días} \\ \text{CFTS} &= \text{CFDS} \cdot \text{días} \end{aligned} \tag{B.1}$$

La cuota variable de abastecimiento (CVTA) y la cuota variable de saneamiento (CVTS) estaban basadas en una tarifa por bloques creciente con cuatro bloques. Para calcularlas hemos multiplicado el consumo diario habido en cada bloque (CD) por el precio de ese bloque en la tarifa (PA y PS) y por el número de días de cada periodo de facturación. Posteriormente, sumamos la facturación resultante en cada tramo para obtener las cuotas variables totales (CVTA y CVTS). Algunas pólizas tienen bonificación (BA y BS), expresada como un porcentaje de descuento sobre la cuota variable, cuya finalidad es adaptar la tarifa a las características institucionales o socio-económicas singulares de

algunos usuarios:

$$\begin{aligned}
 CVTA &= [(PA1 \cdot CD1) + (PA2 \cdot CD2) + (PA3 \cdot CD3) \\
 &\quad + (PA4 \cdot CD4)] \cdot \text{dias} \cdot BA \\
 CVTS &= [(PS1 \cdot CD1) + (PS2 \cdot CD2) + (PS3 \cdot CD3) \\
 &\quad + (PS4 \cdot CD4)] \cdot \text{dias} \cdot BS
 \end{aligned}
 \tag{B.2}$$

El precio medio (P_m) lo hemos calculado como el cociente entre la cuota total ($CVTA + CVTS + CFTA + CFTS$) y el consumo total de cada periodo de facturación. El precio marginal (P_{mg}) lo hemos obtenido tomando el precio del bloque en el que se ubica la última unidad consumida en cada periodo ($PA + PS$). Por tanto, si el consumo de un periodo no supera el primer bloque, el precio marginal es el fijado en la tarifa para ese primer bloque; si el consumo se ubica en el segundo bloque, el precio marginal es el de la tarifa en ese segundo bloque; y así sucesivamente. Al precio marginal obtenido le hemos aplicado, cuando procede, la bonificación correspondiente (BA o BS). Así:

$$\begin{aligned}
 \text{Si } CD < CD1 &\rightarrow P_{mg} = (PA1 \cdot BA) + (PS1 \cdot BS) \\
 \text{Si } CD1 < CD < CD2 &\rightarrow P_{mg} = (PA2 \cdot BA) + (PS2 \cdot BS) \\
 \text{Si } CD2 < CD < CD3 &\rightarrow P_{mg} = (PA3 \cdot BA) + (PS3 \cdot BS) \\
 \text{Si } CD3 < CD &\rightarrow P_{mg} = (PA4 \cdot BA) + (PS4 \cdot BS)
 \end{aligned}
 \tag{B.3}$$

2. 1996-2004:

En esta etapa la tarifa para el cálculo de la cuota variable cambia radicalmente, ya que se transforma en una tarifa de precios medios creciente. En una tarifa de precios medios, la cuota variable se calcula multiplicando por el mismo precio todas las unidades consumidas en el periodo de facturación.

Además, a partir de 1996 se aplican varios coeficientes correctores de la cuota variable de saneamiento:

- El coeficiente AJ es un porcentaje de reducción que se aplica a los m³ de agua registrada en el contador de abastecimiento cuando hay constancia de que la instalación productiva hace un uso consuntivo del agua y no es posible medir mediante otro contador (caudalímetro) el vertido realizado a la red de saneamiento. Su valor se fija para cada instalación tras un estudio específico de su actividad productiva, por lo que puede variar entre el 0 y el 100 %.
- El coeficiente K permite introducir una valoración de la calidad global de los vertidos según el potencial contaminador de la rama de actividad en la que está clasificada la instalación productiva. Este coeficiente puede tomar valores 1, 1,2 y 1,3.

- El coeficiente F se aplica para introducir una valoración de la calidad específica del vertido de cada empresa en relación con los valores medios de los vertidos domésticos. Se fija en función de la demanda química de oxígeno y de los sólidos en suspensión del vertido de cada instalación productiva según resulta de la medición hecha a estos efectos por el servicio municipal de medio ambiente. Varía entre 0,25 y 7,11.

La CFTA y la CFTS se calculan exactamente igual que en el periodo anterior, mientras que el cálculo de la cuota variable se realiza del siguiente modo:

$$\begin{aligned}
 CVTA &= [(PA1 \cdot CD1) + (PA2 \cdot CD2) + (PA3 \cdot CD3) \\
 &\quad + (PA4 \cdot CD4) + (PA5 \cdot CD5)] \cdot \text{dias} \cdot BA \\
 CVTS &= [(PS1 \cdot CDC1) + (PS2 \cdot CDC2) + (PS3 \cdot CDC3) \\
 &\quad + (PS4 \cdot CDC4) + (PS5 \cdot CDC5)] \cdot \text{dias} \cdot K \cdot F \cdot BS
 \end{aligned} \tag{B.4}$$

donde CDC es el consumo diario corregido ($CDC = CD \cdot AJ$) y AJ, K y F son los coeficientes correctores aplicados.

El precio medio se calcula igual que en el periodo anterior, en tanto que el precio marginal se obtiene del siguiente modo:

$$P_{mg} = P_{mgA} + P_{mgS} \tag{B.5}$$

donde:

$$\begin{aligned}
 \text{Si } CD < CD1 &\rightarrow P_{mgA} = PA1 \cdot BA \\
 \text{Si } CD1 < CD < CD2 &\rightarrow P_{mgA} = PA2 \cdot BA \\
 \text{Si } CD2 < CD < CD3 &\rightarrow P_{mgA} = PA3 \cdot BA \\
 \text{Si } CD3 < CD < CD4 &\rightarrow P_{mgA} = PA4 \cdot BA \\
 \text{Si } CD4 < CD &\rightarrow P_{mgA} = PA5 \cdot BA \\
 \\
 \text{Si } CDC < CD1 &\rightarrow P_{mgS} = PS1 \cdot K \cdot F \cdot BS \\
 \text{Si } CD1 < CDC < CD2 &\rightarrow P_{mgS} = PS2 \cdot K \cdot F \cdot BS \\
 \text{Si } CD2 < CDC < CD3 &\rightarrow P_{mgS} = PS3 \cdot K \cdot F \cdot BS \\
 \text{Si } CD3 < CDC < CD4 &\rightarrow P_{mgS} = PS4 \cdot K \cdot F \cdot BS \\
 \text{Si } CD4 < CDC &\rightarrow P_{mgS} = PS5 \cdot K \cdot F \cdot BS
 \end{aligned}$$

3. 2005-2012:

En este periodo la tarifa para el cálculo de la cuota variable vuelve a ser una tarifa por bloques creciente, con dos únicos bloques para los usuarios no domésticos, y siguen aplicándose los coeficientes anteriormente mencionados.

La CFTA y la CFTS se calculan igual, aunque ya no se tiene en consideración la categoría de la calle. La CVTA y la CVTS se obtiene como:

$$\begin{aligned} CVTA &= [(PA1 \cdot CD1) + (PA2 \cdot CD2)] \cdot \text{dias} \cdot BA \\ CVTS &= [(PS1 \cdot CDC1) + (PS2 \cdot CDC2)] \cdot \text{dias} \cdot K \cdot F \cdot BS \end{aligned} \tag{B.6}$$

El precio medio se calcula igual que en los periodos anteriores, mientras que el precio marginal se calcula del siguiente modo:

$$P_{mg} = P_{mgA} + P_{mgS} \tag{B.7}$$

donde:

$$\text{Si } CD < CD1 \rightarrow P_{mgA} = PA1 \cdot BA$$

$$\text{Si } CD1 < CD \rightarrow P_{mgA} = PA2 \cdot BA$$

$$\text{Si } CDC < CD1 \rightarrow P_{mgS} = PS1 \cdot K \cdot F \cdot BS$$

$$\text{Si } CD1 < CDC \rightarrow P_{mgS} = PS2 \cdot K \cdot F \cdot BS$$

C El precio percibido: especificación y resultados preliminares

La utilización del precio percibido hace más compleja la especificación de la función de costes *translog*. En primer lugar, el precio del agua se descompone en dos términos y, además, es necesario estimar el parámetro k como etapa previa a la estimación SUR. Partiendo de (3.2) y (3.8) en el texto principal, y tratando los suministros como inobservables, tenemos que:

$$\begin{aligned}
\ln G = & \alpha + \alpha_Y \ln Y + \frac{1}{2} \alpha_{YY} \ln(Y)^2 + \alpha_k \ln P_K + \alpha_L \ln P_L \\
& + \alpha_{W1} \ln \left(P_{mg} (P_m/P_{mg})^k \right) + \alpha_{YK} \ln Y \ln P_K + \alpha_{YL} \ln Y \ln P_L \\
& + \alpha_{YW1} \ln Y \ln \left(P_{mg} (P_m/P_{mg})^k \right) + \frac{1}{2} [\alpha_{KK} \ln P_K \ln P_K \\
& + \alpha_{KL} \ln P_K \ln P_L + \alpha_{KW1} \ln P_K \ln \left(P_{mg} (P_m/P_{mg})^k \right) \\
& + \alpha_{LL} \ln P_L \ln P_L + \alpha_{LW1} \ln P_L \ln \left(P_{mg} (P_m/P_{mg})^k \right) \\
& + \alpha_{W1W1} \ln \left(P_{mg} (P_m/P_{mg})^k \right) \ln \left(P_{mg} (P_m/P_{mg})^k \right)]
\end{aligned} \tag{C.1}$$

Esta ecuación es no lineal en el parámetro k y resulta difícilmente manejable por las condiciones en las que estamos resolviendo el ejercicio (estructura panel con un gran volumen de información). En lugar de trabajar directamente con la estimación no lineal, vamos a seguir una línea alternativa, reescribiendo la ecuación anterior como:

$$\begin{aligned}
\ln G = & \alpha + \alpha_Y \ln Y + \frac{1}{2} \alpha_{YY} \ln(Y)^2 + \alpha_k \ln P_K + \alpha_L \ln P_L \\
& + \alpha_{W1} \ln P_{mg} + \alpha_{W2} \ln (P_m/P_{mg}) + \alpha_{YK} \ln Y \ln P_K + \alpha_{YL} \ln Y \ln P_L \\
& + \alpha_{YW1} \ln Y \ln P_{mg} + \alpha_{YW2} \ln (P_m/P_{mg}) + \frac{1}{2} [\alpha_{KK} \ln P_K \ln P_K \\
& + \alpha_{KL} \ln P_K \ln P_L + \alpha_{KW1} \ln P_K \ln P_{mg} + \alpha_{KW2} \ln (P_m/P_{mg}) \\
& + \alpha_{LL} \ln P_L \ln P_L + \alpha_{LW1} \ln P_L \ln P_{mg} + \alpha_{LW2} \ln (P_m/P_{mg}) \\
& + \alpha_{W1W1} \ln P_{mg} \ln P_{mg} + \alpha_{W2W2} \ln (P_m/P_{mg}) \ln (P_m/P_{mg}) \\
& + 2\alpha_{W1W2} \ln P_{mg} \ln (P_m/P_{mg})]
\end{aligned} \tag{C.2}$$

donde $\alpha_{W2} = k\alpha_{W1}$; $\alpha_{YW2} = k\alpha_{YW1}$; $\alpha_{KW2} = k\alpha_{KW1}$; $\alpha_{LW2} = k\alpha_{LW1}$; $\alpha_{W2W2} = k^2\alpha_{W1W1}$; $\alpha_{W1W2} = k\alpha_{W1W1}$.

El problema de no linealidad lo hemos transformado en un conjunto de restricciones sobre los parámetros de la ecuación. Podemos escribir la ecuación no restringida:

$$\begin{aligned}
 \ln G = & \alpha + \alpha_Y \ln Y + \frac{1}{2} \alpha_{YY} \ln(Y)^2 + \alpha_k \ln P_K + \alpha_L \ln P_L + \alpha_{W1} \ln P_{mg} \\
 & + k \alpha_{W1} \ln (P_m/P_{mg}) + \alpha_{YK} \ln Y \ln P_K + \alpha_{YL} \ln Y \ln P_L \\
 & + \alpha_{YW1} \ln Y \ln P_{mg} + k \alpha_{YW1} \ln (P_m/P_{mg}) + \frac{1}{2} [\alpha_{KK} \ln P_K \ln P_K \\
 & + \alpha_{KL} \ln P_K \ln P_L + \alpha_{KW1} \ln P_K \ln P_{mg} + k \alpha_{KW1} \ln (P_m/P_{mg}) \\
 & + \alpha_{LL} \ln P_L \ln P_L + \alpha_{LW1} \ln P_L \ln P_{mg} + k \alpha_{LW1} \ln (P_m/P_{mg}) \\
 & + \alpha_{W1W1} \ln P_{mg} \ln P_{mg} + k^2 \alpha_{W1W1} \ln (P_m/P_{mg}) \ln (P_m/P_{mg}) \\
 & + 2k \alpha_{W1W1} \ln P_{mg} \ln (P_m/P_{mg})] \quad (C.3)
 \end{aligned}$$

Para tener garantía de que recuperamos un único valor de k , deben cumplirse las siguientes restricciones:

$$\begin{aligned}
 \frac{\alpha_{YW2}}{\alpha_{YW1}} &= \frac{\alpha_{W2}}{\alpha_{W1}} = k \\
 \frac{\alpha_{KW2}}{\alpha_{KW1}} &= \frac{\alpha_{W2}}{\alpha_{W1}} = k \\
 \frac{\alpha_{LW2}}{\alpha_{LW1}} &= \frac{\alpha_{W2}}{\alpha_{W1}} = k \\
 \frac{\alpha_{W2W2}}{\alpha_{W1W1}} &= \left(\frac{\alpha_{W2}}{\alpha_{W1}} \right)^2 = k^2 \\
 \frac{\alpha_{W1W2}}{\alpha_{W1W1}} &= 2 \left(\frac{\alpha_{W2}}{\alpha_{W1}} \right) = 2k
 \end{aligned} \quad (C.4)$$

Como se ha comentado, cuando especificamos el precio del agua a través del precio percibido, debemos estimar el parámetro k antes de proceder a la estimación SUR. Para ello, la aproximación que nos parece más idónea es estimar la función de costes no restringida de (C.3), para analizar a continuación la validez de las restricciones definidas en (C.4). En definitiva, planteamos un proceso en tres etapas.

En una primera etapa, se estima (C.3) sin imponer ninguna restricción al modelo. A continuación, se contrasta si conjuntamente se cumplen las restricciones en (C.4). En caso negativo, la hipótesis del precio percibido no es apoyada por nuestros datos. En caso afirmativo, usamos el correspondiente precio percibido estimado para resolver las ecuaciones (3.2) y (3.3) como aparece en la Tabla 3.5 en el texto principal.

La Tabla C.1 muestra el valor del parámetro k obtenido para el agregado y para los tres sectores. Los resultados son poco informativos ya que nos permiten aceptar tanto que $k = 0$ como que $k = 1$. Nuestra convicción es que, desafortunadamente, la estimación del parámetro k es demasiado difusa, por lo que no somos capaces de concretar si el usuario responde al precio marginal, al precio medio o a una combinación de ambos. Por el momento, abandonamos la discusión sobre el precio percibido en este punto, con la intención de retomarla en un futuro próximo.

Tabla C.1: Estimación del parámetro k por sectores

	Agregado	Industria	Construcción	Servicios
	0,43	0,03	0,36	0,13
k	(-0,39; 1,26)	(-2,65; 2,71)	(-0,06; 0,77)	(-1,49; 1,76)

Nota: Entre paréntesis se muestra el intervalo de confianza al 95 %.

D Apéndice estadístico y resultados adicionales

Tabla D.1: Principales magnitudes de la muestra de empresas por ramas de actividad. Promedio por registro en € de 2012

Rama de actividad	Nº de registros	Valor de la producción (€)	Coste de producción (€)	Participación en costes				Precio				Cantidad		
				W	K	L	S	W		K	L	W	K	L
				(%)	(%)	(%)	(%)	P_{mg} (€/m ³)	P_m (€/m ³)	(%)	(€/empleado)	(m ³)	(€)	(nº empleados)
2	645	2.789.515	2.772.055	0,23	2,30	30,57	66,90	1,75	2,15	4,21	22.944,11	12.132,80	1.961.981	21,29
		(4.757.362)	(4.600.671)	(0,54)	(3,56)	(14,65)	(14,46)	(0,93)	(2,86)	(5,48)	(7.127,13)	(75.189,80)	(4.335.394)	(27,52)
3	583	1.094.720	1.144.506	0,04	3,33	35,40	61,23	0,84	2,70	5,50	22.297,42	164,33	995.263	13,91
		(1.993.062)	(2.061.850)	(0,06)	(3,24)	(18,24)	(17,88)	(0,62)	(13,01)	(5,74)	(8.416,14)	(364,81)	(1.953.969)	(25,26)
4	855	937.919	921.247	0,05	2,64	37,55	59,76	1,01	2,49	4,40	27.780,19	290,81	907.336	9,34
		(1.505.550)	(1.455.509)	(0,06)	(2,64)	(14,28)	(14,77)	(0,61)	(3,25)	(8,50)	(9.669,22)	(1.066,07)	(1.903.941)	(10,66)
5	181	9.354.661	9.273.568	0,14	3,30	21,70	74,87	1,45	4,10	5,98	35.542,64	4.228,01	6.949.747	33,64
		(11.300.000)	(11.100.000)	(0,37)	(4,01)	(12,78)	(12,78)	(0,70)	(13,22)	(8,76)	(10.755,76)	(12.465,91)	(9.208.390)	(39,37)
6	257	5.650.939	5.756.456	0,09	3,68	33,63	62,60	1,42	9,48	5,40	30.703,47	1.226,08	4.176.209	35,31
		(10.700.000)	(11.100.000)	(0,14)	(3,90)	(14,30)	(14,41)	(0,84)	(78,75)	(4,80)	(9.657,50)	(2.430,09)	(7.328.271)	(41,01)
7	99	994.748	988.445	0,08	2,35	34,79	62,78	1,25	3,23	4,66	29.339,91	282,63	632.898	10,77
		(1.221.573)	(1.185.843)	(0,14)	(3,09)	(11,35)	(11,21)	(0,78)	(5,15)	(5,60)	(10.654,10)	(637,98)	-852.351	(11,77)
8	1329	5.741.867	5.760.170	0,05	3,27	36,13	60,55	1,20	3,07	6,36	34.575,05	1.060,02	3.871.931	33,41
		(14.200.000)	(13.900.000)	(0,12)	(6,34)	(15,45)	(15,92)	(0,73)	(15,15)	(21,29)	(11.301,88)	(3.371,09)	(9.156.365)	(59,35)
9	309	8.642.915	8.267.604	0,03	2,59	32,50	64,88	1,10	3,88	4,46	32.790,67	948,03	5.879.702	51,10
		(19.900.000)	(18.700.000)	(0,03)	(2,63)	(15,04)	(15,55)	(0,74)	(8,40)	(4,11)	(9.798,05)	(2.365,35)	(11.000.000)	(92,24)
10	575	5.164.764	5.135.696	0,04	2,76	35,73	61,46	1,37	2,62	4,34	36.270,12	617,68	3.646.680	33,82
		(10.300.000)	(10.100.000)	(0,10)	(2,76)	(15,27)	(15,56)	(0,69)	(6,84)	(5,81)	(11.181,72)	(990,22)	(4.837.918)	(43,52)
11	169	6.590.736	7.152.565	0,05	2,77	34,47	62,71	1,56	2,06	4,48	35.544,69	1.346,56	6.239.416	70,13
		(11.700.000)	(12.900.000)	(0,05)	(2,50)	(13,68)	(14,21)	(0,76)	(2,19)	(4,31)	(10.027,54)	(2.267,33)	(12.800.000)	(134,04)
12	739	2.871.038	2.873.434	0,03	2,24	31,57	66,16	0,95	3,94	4,25	27.533,45	169,70	1.929.139	14,72
		(7.968.457)	(7.900.694)	(0,04)	(2,71)	(14,54)	(14,36)	(0,62)	(8,06)	(7,47)	(9.940,97)	(416,07)	(4.620.229)	(21,57)

Rama de actividad	Nº de registros	Valor de la producción (€)	Coste de producción (€)	Participación en costes				Precio				Cantidad		
				W	K	L	S	W		K	L	W	K	L
				(%)	(%)	(%)	(%)	P_{mg} (€/m ³)	P_m (€/m ³)	(%)	(€/empleador)	(m ³)	(€)	(nº empleados)
14	11462	2.964.612 (17.500.000)	2.885.308 (17.100.000)	0,06 (0,39)	2,01 (3,69)	20,65 (12,73)	77,28 (13,47)	0,93 (0,63)	3,83 (17,76)	4,03 (16,32)	26.861,45 (12.797,42)	220,59 (735,62)	1.229.084 (5.002.598)	9,11 (16,57)
15	698	6.797.100 (18.100.000)	6.008.607 (15.800.000)	0,11 (0,35)	2,84 (5,50)	31,11 (18,29)	65,95 (19,91)	1,11 (0,69)	3,14 (7,62)	3,08 (3,60)	31.010,44 (11.129,43)	1.055,13 (2.786,34)	4.833.150 (14.800.000)	53,09 (174,19)
16	3749	556.456 (893.184)	527.268 (790.563)	0,49 (0,46)	2,20 (4,01)	34,28 (9,62)	63,03 (10,22)	2,01 (0,66)	1,95 (2,93)	2,74 (2,72)	21.068,20 (8.299,25)	1.346,96 (4.196,84)	610.699 (2.411.042)	8,69 (12,35)
17	736	880.315 (1.762.902)	869.782 (1.767.417)	0,06 (0,15)	2,36 (4,45)	40,18 (19,93)	57,40 (20,25)	0,93 (0,54)	4,24 (12,58)	3,37 (7,83)	26.634,40 (10.672,78)	173,96 (609,30)	709.004 (1.815.240)	9,70 (14,66)
18	479	493.163 (1.174.338)	654.042 (5.140.570)	0,07 (0,13)	9,01 (17,85)	44,88 (20,05)	46,04 (21,24)	0,88 (0,43)	4,20 (10,95)	2,69 (3,07)	30.233,46 (14.263,74)	67,42 (185,81)	2.166.438 (13.800.000)	4,95 (18,10)
19	2123	1.347.833 (4.554.059)	1.424.181 (6.233.298)	0,15 (0,37)	28,55 (26,06)	28,02 (18,72)	43,28 (23,10)	0,99 (0,53)	5,19 (15,09)	5,67 (49,26)	32.747,12 (25.872,15)	1.024,67 (8.393,86)	8.770.790 (25.500.000)	6,39 (22,67)
20	2810	584.478 (1.117.551)	528.583 (1.011.827)	0,05 (0,15)	3,94 (7,28)	45,82 (20,78)	50,19 (21,16)	0,87 (0,38)	4,31 (29,98)	3,20 (3,43)	29.258,49 (14.941,45)	57,88 (123,41)	914.839 (5.818.639)	6,99 (14,41)
21	1070	1.771.212 (9.026.624)	1.615.294 (8.422.452)	0,06 (0,20)	4,69 (9,14)	54,55 (27,86)	40,70 (26,60)	0,87 (0,45)	4,14 (8,50)	4,26 (5,59)	23.543,66 (14.188,99)	120,59 (552,72)	687.356 (1.427.225)	23,24 (42,59)
22	844	722.517 (1.251.785)	706.579 (1.204.064)	0,12 (0,18)	2,52 (4,50)	53,97 (15,58)	43,39 (15,80)	1,16 (0,63)	2,49 (5,44)	2,93 (4,13)	21.139,13 (8.782,14)	418,08 (1.074,81)	557.082 (1.317.600)	19,45 (40,03)
23	956	1.002.067 (1.983.360)	962.021 (1.939.878)	0,24 (0,39)	3,20 (4,11)	45,08 (17,44)	51,48 (17,02)	1,39 (0,72)	3,10 (11,61)	3,44 (3,85)	23.172,38 (10.063,09)	1.746,36 (5.022,67)	823.079 (1.369.265)	18,59 (33,69)
24	923	2.483.346 (6.428.335)	2.544.850 (7.195.405)	0,50 (1,12)	3,52 (5,29)	32,71 (19,86)	63,26 (20,52)	1,41 (0,79)	4,88 (33,95)	3,49 (5,23)	27.109,04 (22.242,21)	1.741,92 (3.533,09)	2.483.046 (8.421.394)	17,92 (37,24)
25	1320	407.419 (904.313)	393.413 (879.862)	0,39 (0,81)	2,32 (3,39)	48,85 (14,90)	48,44 (14,52)	1,34 (0,73)	3,32 (39,89)	2,82 (2,52)	18.762,22 (8.905,89)	593,28 (2.129,18)	585.237 (3.847.122)	8,00 (15,25)

Nota: Entre paréntesis se muestra la desviación estándar.
Los valores en € están expresados a precios de 2012.

Tabla D.2: Elasticidades directas y elasticidad *output* por ramas de actividad

Rama de actividad	$E_{ww}(P_{mg})$	$E_{ww}(P_m)$	E_{KK}	E_{LL}	E_{SS}	E_{wY}
2	-0,62 (0,09)	-0,73 (0,00)	-0,45 (0,00)	-0,50 (0,00)	-0,24 (0,00)	0,65 (0,03)
3	1,55 (0,65)	-0,91 (0,51)	-0,59 (0,00)	-0,40 (0,00)	-0,21 (0,00)	-5,52 (0,10)
4	-0,03 (0,98)	-1,04 (0,01)	-0,51 (0,00)	-0,44 (0,00)	-0,26 (0,00)	-0,38 (0,74)
5	0,51 (0,58)	-1,39 (0,06)	-0,35 (0,00)	-0,49 (0,00)	-0,13 (0,00)	-1,44 (0,11)
6	-0,73 (0,25)	-0,86 (0,01)	-0,03 (0,67)	-0,27 (0,00)	-0,09 (0,00)	0,98 (0,20)
7	-0,44 (0,91)	-1,66 (0,05)	-0,70 (0,00)	-0,57 (0,00)	-0,31 (0,00)	-2,13 (0,56)
8	-0,86 (0,29)	-1,00 (0,04)	-0,27 (0,00)	-0,30 (0,00)	-0,15 (0,00)	0,35 (0,70)
9	2,80 (0,47)	0,02 (0,99)	-0,33 (0,00)	-0,46 (0,00)	-0,19 (0,00)	-6,10 (0,15)
10	-1,06 (0,52)	-1,22 (0,00)	-0,66 (0,00)	-0,30 (0,00)	-0,17 (0,00)	0,91 (0,51)
11	-0,12 (0,98)	-0,29 (0,94)	-0,44 (0,00)	-0,33 (0,00)	-0,12 (0,00)	-0,65 (0,87)
12	0,19 (0,90)	-0,93 (0,07)	-0,45 (0,00)	-0,42 (0,00)	-0,19 (0,00)	-2,17 (0,19)
14	-0,77 (0,00)	-0,99 (0,00)	-0,52 (0,00)	-0,42 (0,00)	-0,11 (0,00)	0,76 (0,00)
15	-0,74 (0,17)	-0,91 (0,00)	-0,44 (0,00)	-0,45 (0,00)	-0,20 (0,00)	0,30 (0,58)
16	-0,91 (0,00)	-1,00 (0,00)	-0,63 (0,00)	-0,54 (0,00)	-0,29 (0,00)	0,62 (0,00)
17	-0,82 (0,74)	-2,10 (0,12)	-0,71 (0,00)	-0,31 (0,00)	-0,19 (0,00)	-2,73 (0,18)
18	-2,88 (0,38)	1,79 (0,44)	-0,66 (0,00)	-0,36 (0,00)	-0,38 (0,00)	5,39 (0,04)
19	-1,24 (0,01)	-1,07 (0,00)	-0,40 (0,00)	-0,41 (0,00)	-0,28 (0,00)	2,14 (0,00)
20	-0,40 (0,81)	-1,08 (0,01)	-0,71 (0,00)	-0,33 (0,00)	-0,27 (0,00)	0,11 (0,93)
21	0,31 (0,82)	-1,05 (0,05)	-0,70 (0,00)	-0,27 (0,00)	-0,32 (0,00)	0,14 (0,90)
22	-0,85 (0,22)	-0,97 (0,00)	-0,65 (0,00)	-0,33 (0,00)	-0,41 (0,00)	0,58 (0,39)
23	-0,83 (0,00)	-1,00 (0,00)	-0,57 (0,00)	-0,46 (0,00)	-0,38 (0,00)	0,90 (0,00)
24	-0,97 (0,00)	-0,96 (0,00)	-0,61 (0,00)	-0,53 (0,00)	-0,27 (0,00)	0,87 (0,00)
25	-0,87 (0,00)	-0,86 (0,00)	-0,57 (0,00)	-0,36 (0,00)	-0,36 (0,00)	1,13 (0,00)

Nota: Entre paréntesis se muestra el p-valor.

Tabla D.3: Elasticidades de Morishima por ramas de actividad

Rama de actividad	M _{KW}	M _{LW}	M _{SW}	M _{WK}	M _{LK}	M _{SK}	M _{WL}	M _{KL}	M _{SL}	M _{WS}	M _{KS}	M _{LS}
2	0,24 (0,15)	1,92 (0,00)	-0,34 (0,64)	0,60 (0,10)	0,51 (0,00)	0,70 (0,00)	0,63 (0,08)	0,45 (0,00)	0,73 (0,00)	0,62 (0,09)	0,46 (0,00)	0,73 (0,00)
3	2,35 (0,23)	1,16 (0,86)	-3,87 (0,61)	-1,54 (0,65)	0,92 (0,00)	0,27 (0,00)	-1,55 (0,65)	0,63 (0,00)	0,56 (0,00)	-1,56 (0,65)	0,59 (0,00)	0,61 (0,00)
4	0,52 (0,33)	1,58 (0,38)	-0,87 (0,68)	0,03 (0,98)	0,83 (0,00)	0,38 (0,00)	0,03 (0,98)	0,53 (0,00)	0,68 (0,00)	0,03 (0,98)	0,51 (0,00)	0,70 (0,00)
5	0,30 (0,54)	1,47 (0,50)	-1,31 (0,60)	-0,51 (0,58)	0,72 (0,00)	0,25 (0,09)	-0,51 (0,58)	0,39 (0,00)	0,58 (0,00)	-0,51 (0,58)	0,36 (0,00)	0,62 (0,00)
6	0,34 (0,55)	-0,06 (0,97)	0,84 (0,64)	0,74 (0,24)	0,76 (0,00)	-0,38 (0,03)	0,73 (0,25)	0,09 (0,28)	0,30 (0,00)	0,73 (0,25)	0,01 (0,93)	0,38 (0,00)
7	0,24 (0,88)	4,30 (0,53)	-2,51 (0,76)	0,43 (0,91)	0,93 (0,00)	0,67 (0,01)	0,44 (0,91)	0,73 (0,00)	0,85 (0,00)	0,44 (0,91)	0,72 (0,00)	0,87 (0,00)
8	0,73 (0,10)	1,60 (0,40)	-0,74 (0,74)	0,86 (0,28)	0,67 (0,00)	0,05 (0,55)	0,86 (0,28)	0,30 (0,00)	0,42 (0,00)	0,86 (0,29)	0,27 (0,00)	0,46 (0,00)
9	-0,28 (0,91)	8,49 (0,38)	-10,02 (0,34)	-2,80 (0,47)	1,05 (0,00)	-0,07 (0,65)	-2,79 (0,47)	0,37 (0,00)	0,60 (0,00)	-2,80 (0,47)	0,32 (0,00)	0,67 (0,00)
10	0,34 (0,68)	1,90 (0,57)	-0,06 (0,99)	1,05 (0,52)	0,67 (0,00)	0,45 (0,00)	1,06 (0,52)	0,69 (0,00)	0,43 (0,00)	1,06 (0,52)	0,67 (0,00)	0,45 (0,00)
11	1,47 (0,57)	5,10 (0,59)	-5,55 (0,63)	0,14 (0,98)	1,15 (0,00)	-0,26 (0,19)	0,13 (0,98)	0,51 (0,00)	0,39 (0,00)	0,12 (0,98)	0,43 (0,00)	0,48 (0,00)
12	0,93 (0,31)	0,44 (0,89)	-0,50 (0,89)	-0,19 (0,90)	0,82 (0,00)	0,24 (0,03)	-0,19 (0,90)	0,48 (0,00)	0,58 (0,00)	-0,19 (0,90)	0,45 (0,00)	0,61 (0,00)
14	0,51 (0,00)	0,78 (0,00)	0,52 (0,05)	0,77 (0,00)	0,66 (0,00)	0,39 (0,00)	0,77 (0,00)	0,54 (0,00)	0,51 (0,00)	0,77 (0,00)	0,53 (0,00)	0,53 (0,00)
15	0,29 (0,38)	1,54 (0,17)	-0,01 (0,99)	0,73 (0,17)	0,85 (0,00)	0,24 (0,03)	0,74 (0,16)	0,48 (0,00)	0,61 (0,00)	0,74 (0,17)	0,44 (0,00)	0,64 (0,00)
16	0,66 (0,00)	0,89 (0,00)	0,81 (0,00)	0,92 (0,00)	0,93 (0,00)	0,52 (0,00)	0,92 (0,00)	0,65 (0,00)	0,79 (0,00)	0,91 (0,00)	0,64 (0,00)	0,81 (0,00)
17	0,94 (0,38)	0,66 (0,86)	0,43 (0,92)	0,82 (0,74)	0,97 (0,00)	0,23 (0,08)	0,82 (0,74)	0,75 (0,00)	0,46 (0,00)	0,82 (0,74)	0,71 (0,00)	0,50 (0,00)
18	0,25 (0,83)	-0,05 (0,99)	4,08 (0,45)	2,88 (0,38)	0,65 (0,00)	0,76 (0,00)	2,88 (0,38)	0,72 (0,00)	0,68 (0,00)	2,88 (0,38)	0,74 (0,00)	0,66 (0,00)
19	0,94 (0,00)	-0,04 (0,95)	1,43 (0,09)	1,25 (0,01)	0,60 (0,00)	0,48 (0,00)	1,24 (0,01)	0,60 (0,00)	0,49 (0,00)	1,25 (0,01)	0,54 (0,00)	0,55 (0,00)
20	0,87 (0,18)	0,41 (0,84)	0,43 (0,87)	0,40 (0,81)	0,86 (0,00)	0,46 (0,00)	0,40 (0,81)	0,76 (0,00)	0,56 (0,00)	0,40 (0,81)	0,73 (0,00)	0,59 (0,00)
21	0,78 (0,27)	1,88 (0,35)	-1,69 (0,51)	-0,31 (0,82)	0,81 (0,00)	0,47 (0,00)	-0,31 (0,82)	0,74 (0,00)	0,54 (0,00)	-0,32 (0,82)	0,72 (0,00)	0,57 (0,00)
22	0,71 (0,03)	0,92 (0,37)	0,61 (0,63)	0,85 (0,21)	0,71 (0,00)	0,69 (0,00)	0,85 (0,21)	0,67 (0,00)	0,72 (0,00)	0,85 (0,22)	0,67 (0,00)	0,73 (0,00)
23	0,58 (0,00)	1,08 (0,00)	0,59 (0,01)	0,83 (0,00)	0,94 (0,00)	0,48 (0,00)	0,84 (0,00)	0,61 (0,00)	0,80 (0,00)	0,83 (0,00)	0,58 (0,00)	0,83 (0,00)
24	0,67 (0,00)	0,75 (0,00)	0,95 (0,00)	0,98 (0,00)	0,84 (0,00)	0,55 (0,00)	0,97 (0,00)	0,64 (0,00)	0,76 (0,00)	0,98 (0,00)	0,62 (0,00)	0,78 (0,00)
25	0,56 (0,00)	0,93 (0,00)	0,68 (0,02)	0,86 (0,00)	0,75 (0,00)	0,55 (0,00)	0,87 (0,00)	0,59 (0,00)	0,70 (0,00)	0,87 (0,00)	0,58 (0,00)	0,71 (0,00)

Nota: Entre paréntesis se muestra el p-valor.

Capítulo 4

**Los determinantes del autosuministro
de agua para actividades productivas
en un entorno urbano.**

El caso del municipio de Zaragoza

Resumen

El diseño de políticas para contribuir a la sostenibilidad de los recursos hídricos exige un adecuado conocimiento del uso de las distintas masas de agua y sus factores determinantes. Este capítulo analiza el autosuministro de agua procedente de captaciones subterráneas para usos productivos en un entorno urbano, utilizando el modelo en dos etapas de Heckman. La primera etapa de este modelo se encarga de la decisión de recurrir al autosuministro o no, mientras que en la segunda etapa se examina la cantidad autosuministrada. Para ello, disponemos de microdatos de 2.893 empresas localizadas en el municipio de Zaragoza (España) para el año 2012. Los resultados muestran, en primer lugar, que la probabilidad de recurrir al autosuministro es mayor cuanto más elevado es el coste del agua de red, cuanto menor es el coste -fijo y variable- del agua autosuministrada, y cuando la empresa pertenece al sector industrial. En segundo lugar, la demanda de agua autosuministrada depende positivamente del nivel de producción de las empresas y del coste variable del agua de red, lo que permite caracterizar a ambos tipos de agua como sustitutivos. Esta relación de sustituibilidad alerta sobre la limitada eficacia de las políticas de precios centradas sólo en el agua de red para conseguir reducir la presión sobre el recurso y confirma la necesidad de una gestión integral del agua. El hecho de que el volumen de agua autosuministrada no dependa de su coste variable evidencia su reducida magnitud en la escala de costes de la empresa. Resulta reseñable, en particular, la ausencia de una tarifa que grave la captación de agua de los acuíferos, imprescindible para disponer de un instrumento económico de gestión de esta demanda.

4.1 Introducción

La relación entre las aguas superficiales (como ríos, lagos, canales, . . .) y las aguas subterráneas (agua almacenada bajo la superficie del suelo en las formaciones geológicas porosas denominadas acuíferos) es muy estrecha ya que, por un lado, las aguas subterráneas afloran frecuentemente a través de manantiales para continuar un recorrido superficial y, por otro lado, las aguas superficiales tienden a infiltrarse en el terreno pasando a formar parte de las aguas subterráneas [Fuentes (1992)].

Esto hace necesaria la puesta en marcha de políticas de gestión integral del recurso en las que se tengan en cuenta todas las masas de agua (tanto superficiales como subterráneas) y las relaciones existentes entre ellas, con el fin de garantizar su buen estado ecológico, en línea con lo propuesto por la Directiva Marco del Agua (directiva 2000/60/EC, de 23 Octubre de 2000) [European Community (2000)]. Esta directiva presta una especial atención a las aguas subterráneas, poco consideradas hasta su entrada en vigor. Su objetivo, en este caso, es alcanzar el buen estado cuantitativo y químico, para lo que establece, entre otras, la meta de regenerar todas las masas de agua subterráneas y garantizar un equilibrio entre la extracción y la alimentación.

La captación de agua subterránea tiene una especial relevancia en el abastecimiento a las actividades productivas, ya que las empresas emplean el agua para diversos usos,

algunos de los cuales no requieren una elevada calidad. En estos casos, las empresas no precisan de agua potable suministrada a través de una red urbana de abastecimiento (agua de red), pudiendo emplear, en su lugar, otras fuentes alternativas como la reutilización de agua (procedimiento que permite que el agua pueda ser empleada más de una vez en el proceso productivo) o como el autosuministro de agua (agua captada directamente mediante instalaciones y equipos propios), proveniente en parte de captaciones subterráneas.

El agua empleada por los sectores económicos no agrarios en España en el año 2012 ascendió a 4.273,29 Hm³. Como se muestra en la Tabla 4.1, el 16,64 % tuvo su origen en el suministro de red y el restante 83,36 % fue obtenida mediante captaciones propias [INE (2015b)]. El volumen de agua autosuministrada ascendió a 3.562,12 Hm³, siendo su origen diverso: aguas superficiales (67,44 %), aguas subterráneas (29,68 %) y agua de mar u otro tipo de recursos hídricos (2,88 %).

Tabla 4.1: Agua empleada por los sectores económicos no agrarios en España

	2000		2012		Δ 2000-2012
	Hm ³	%	Hm ³	%	%
Agua de red	840,17	17,31	711,17	16,64	-15,35
Agua autosuministrada	4.013,56	82,69	3.562,12	83,36	-11,25
De los cuales:					
Aguas superficiales	2.999,58	80,30	2.402,34	67,44	-19,91
Aguas subterráneas	928,41	23,13	1.057,11	29,68	13,86
Desalación y otros	85,57	2,13	102,67	2,88	19,97

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de INE (2015b).

Entre los años 2000 y 2012, se produjo una reducción en el uso de agua de red (-15,35 %) superior a la experimentada por el agua autosuministrada (-11,25 %). Además, mientras que las captaciones propias provenientes de los cursos de agua superficiales disminuyeron durante ese periodo, se produjo un incremento del uso de las aguas subterráneas y desaladas.

El reducido peso que tiene el agua de red en el conjunto de agua empleada por los sectores económicos no agrarios contrasta con la fuerte atención prestada en la literatura a esta fuente de abastecimiento, en comparación con las otras fuentes alternativas. La mayor parte de los estudios empíricos dedicados al análisis de las fuentes alternativas al suministro de red se han centrado en analizar la reutilización de agua [Renzetti (1988, 1992a), Dupont y Renzetti (1998, 2001), Bruneau *et al.* (2010), Féres *et al.* (2012), Bruneau y Renzetti (2014)]. Algunos autores han insistido también en la importancia del autosuministro [entre otros, De Rooy (1974), Ziegler y Bell (1984) o Renzetti (1988, 1992a)], aunque

sólo encontramos dos estudios donde se estima la demanda de agua autosuministrada en la industria manufacturera [Renzetti (1993), Reynaud (2003)].

La escasez de estudios de este tipo se debe, principalmente, a la falta de información sobre la utilización de estas fuentes de suministro, consecuencia de las mayores dificultades a las que se enfrenta su control en comparación con el agua captada de las redes municipales de abastecimiento público. A esto se une la dificultad para estimar con precisión el coste de los *inputs* hídricos alternativos. Para su estimación es necesario considerar los costes de inversión, extracción y tratamiento del agua asumidos por los propios usuarios, sobre los que raramente hay estadísticas; además, son poco habituales o marginales las cargas provenientes de tasas específicas, cuyo conocimiento es más accesible.

En general, la literatura de aplicación se ha centrado en la estimación de la demanda de los diferentes *inputs* hídricos (ya sea agua de red, autosuministrada o reutilizada) asumiendo implícitamente que la fuente de suministro está determinada exógenamente. Sin embargo, en la realidad, un número apreciable de empresas puede elegir tanto sus fuentes de abastecimiento como la cantidad empleada de cada una de ellas. Esta situación puede analizarse mediante un modelo en dos etapas donde, en la primera etapa, el usuario decide si recurrir o no a una determinada fuente de abastecimiento (por ejemplo, el autosuministro) para, en una segunda etapa, decidir el volumen de agua captado a través de esa fuente. Esta estrategia de análisis parece clara aunque no ha sido muy utilizada con anterioridad. Por lo que conocemos, sólo Renzetti (1993) la aplica al caso del agua autosuministrada y algunos trabajos más la utilizan para analizar la reutilización de agua [Bruneau *et al.* (2010), Féres *et al.* (2012), Bruneau y Renzetti (2014)].

El objetivo de este capítulo es examinar los factores que influyen en la decisión de recurrir al autosuministro de agua y estimar la demanda de agua autosuministrada para actividades productivas no agrarias. Para ello, nos basamos en una muestra de 2.893 empresas localizadas en el municipio de Zaragoza (España) y nos centramos en el autosuministro proveniente de la captación de agua subterránea. Empleamos el modelo de doble valla de Heckman (1979), que nos permite obtener el efecto marginal de los diferentes factores relevantes sobre la probabilidad de autosuministro y sobre el volumen, condicionado e incondicionado, de agua autosuministrada. Los resultados son de especial interés por la escasez de estudios económicos sobre la demanda de este *input* hídrico y porque se refieren a la totalidad de actividades productivas no agrarias habitualmente desarrolladas en entornos urbanos.

Tras esta introducción, la Sección 4.2 presenta el caso de estudio. En la Sección 4.3 se describen y analizan los datos. Posteriormente, en la Sección 4.4 se expone el modelo y las técnicas de estimación correspondientes al caso. Los resultados se muestran y discuten en la Sección 4.5. Finalmente, en la Sección 4.6 se presentan las principales conclusiones.

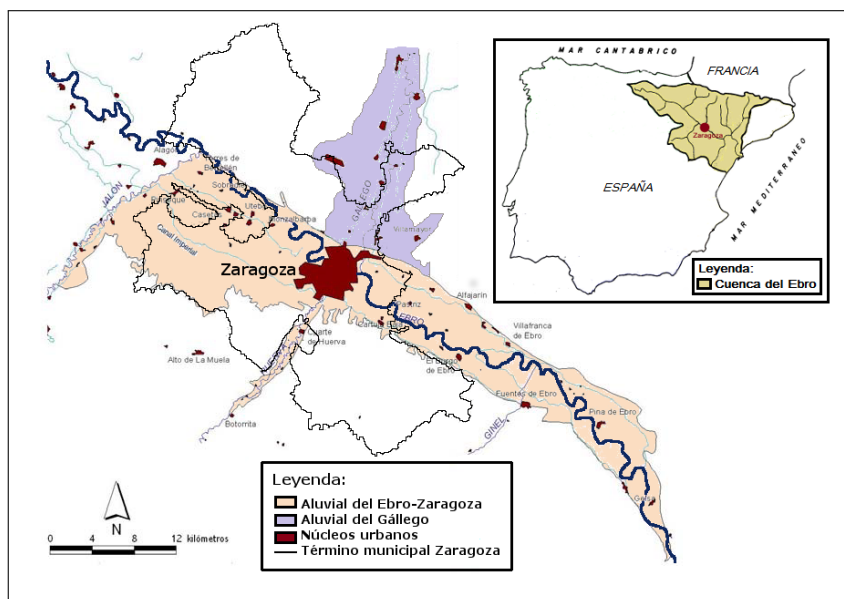
4.2 Caso de estudio

El municipio de Zaragoza es el quinto municipio más poblado de España. Su estructura productiva es similar a la del conjunto de España, caracterizada por el predominio del sector servicios (84 % del empleo), seguido de la industria (10 %), la construcción (5 %) y la agricultura y ganadería (1 %), según datos para el año 2012 del Instituto Aragonés de Estadística [IAEST (2015)].

Este municipio se sitúa en el centro de la depresión del río Ebro, coincidiendo con la desembocadura de dos de sus afluentes: los ríos Gállego y Huerva. El suministro de agua potable en el municipio se ha abastecido tradicionalmente del Canal Imperial de Aragón, que discurre en paralelo al río Ebro, del que toma su agua, aunque se complementa desde 2010 con el agua canalizada desde los Pirineos. Los servicios de abastecimientos de agua potable y de saneamiento (recogida y tratamiento) de aguas residuales son responsabilidad del Ayuntamiento de Zaragoza. Ambos servicios son gravados por un sistema tarifario binomial que combina una cuota fija y una cuota variable (cuota volumétrica). La cuota fija depende del calibre del contador que mide el agua suministrada a cada usuario; no obstante, para los usuarios que tienen instalado un contador para medir también el agua vertida a la red de alcantarillado (este contador sólo se instala en los casos en que el volumen de agua vertida difiere del volumen de agua captada de la red), la cuota fija correspondiente al servicio de saneamiento depende del calibre de este contador. La cuota variable depende del volumen de agua registrada en ese/esos contador/es y se obtiene mediante la aplicación de una tarifa por bloques de consumo con precios crecientes.

El municipio de Zaragoza se asienta sobre dos importantes masas de agua subterráneas: el aluvial del Ebro-Zaragoza y el aluvial del río Gállego (véase la Figura 4.1).

Figura 4.1: Localización del aluvial del Ebro-Zaragoza y del aluvial del Gállego



Fuente: Elaboración propia a partir de CHE (2008a).

El aluvial del Gállego tiene una superficie de 271 km², desde el embalse de Ardisa (Huesca) hasta su confluencia con el río Ebro. En su mayor parte se trata de suelo agrícola, con una importante presencia del regadío [CHE (2008b)]. Precisamente, el mecanismo de recarga más importante de este aluvial se debe a la infiltración de los retornos de regadío, mientras que las salidas se realizan principalmente por flujo subterráneo hacia el aluvial del Ebro-Zaragoza en la intersección de estas dos masas de agua.

El aluvial del Ebro-Zaragoza, que es la principal fuente de agua subterránea del municipio, tiene una superficie de 632 km² y se alinea a lo largo del eje central de la depresión del río Ebro, entre el río Jalón y el municipio de Gelsa. La mayor parte de esta superficie está ocupada por suelo agrícola, con una importante presencia de regadíos, mientras que el 14 % está ocupada por zonas urbanas e industriales [CHE (2008a)]. Este aluvial está formado por los sedimentos fluviales de los ríos Ebro, Gállego y, con menor extensión, Huerva y Jalón. Entre los mecanismos de recarga de este aluvial se encuentran la filtración de las precipitaciones, los aportes de cuencas adyacentes, las filtraciones y aportes para riego del Canal Imperial de Aragón y las pérdidas de la red urbana de abastecimiento y saneamiento. Sin embargo, sólo el 10 % de la recarga se produce por medios naturales, dependiendo el resto principalmente del Canal Imperial de Aragón.

Estas dos masas de agua subterráneas, denominadas habitualmente como acuífero de Zaragoza, dotan al municipio de una fuente de agua abundante y de fácil acceso desde casi cualquier zona, mediante pozos de apenas una veintena de metros. El agua extraída tiene una temperatura y composición química constantes y se halla libre de elementos en suspensión, por lo que habitualmente no es necesario ningún tratamiento físico o químico previo a su uso. Se trata de un recurso con una garantía de disponibilidad casi absoluta y con un coste para muchos usuarios inferior al del abastecimiento de la red municipal. A este respecto, debe tenerse en cuenta que la Ley de Aguas de 1985 [España (1985)] declara las aguas subterráneas de dominio público, cuyo uso está sujeto a autorización administrativa y es gravado con una tasa fija, dirigida a cubrir los costes del procedimiento de autorización. No existe, sin embargo, una tarifa que grave la cantidad de agua extraída, en contraposición a lo que ocurre con el agua de red. De este modo, los usuarios sólo soportan los costes de extracción (tasa de autorización y costes de construcción del pozo y bombeo del agua) y, en su caso, de tratamiento y vertido del agua extraída a la red municipal de alcantarillado; circunstancia esta última que, cuando se produce, lleva aparejada la aplicación de la tarifa municipal de saneamiento de agua (tarifa dicotómica, con una parte fija y otra variable según el volumen vertido).

Las extracciones de agua de este acuífero en el municipio de Zaragoza son relativamente escasas en comparación con los recursos que ofrece: unos 7,5 Hm³/año de los 250 Hm³ disponibles [Moreno *et al.* (2008)]. Como puede verse en la Tabla 4.2, estas capturas se destinan mayoritariamente a actividades productivas no agrarias (92,46 %). El porcentaje restante se reparte entre los usos agrarios (7,42 %), recreativos (3,34 %) y de abastecimiento (0,12 %), correspondiendo este último a pequeñas captaciones destinadas al consumo en instalaciones desconectadas de la red municipal.

Tabla 4.2: Distribución de las extracciones de agua subterránea en el municipio de Zaragoza según su uso

Uso	Hm ³ /año	%
Abastecimientos	0,009	0,12
Actividades agrarias	0,556	7,42
Actividades productivas no agrarias	6,925	92,46
Total	7,49	100

Fuente: Moreno *et al.* (2008).

4.3 Datos

Disponemos de una muestra de 2.893 empresas que desarrollan su actividad en el municipio de Zaragoza. Para cada empresa de la muestra, tenemos información, referida al año 2012, sobre las siguientes variables: el volumen de agua autosuministrada, el volumen de agua captada de la red, el coste del agua autosuministrada y del agua de red (distinguiendo, en ambos casos, entre el coste fijo unitario y el coste variable medio), el valor de la producción y la rama de actividad.

Los datos provienen principalmente de tres fuentes de información. Los datos sobre el volumen de agua de red empleada por las empresas han sido facilitados por el Ayuntamiento de Zaragoza, en tanto que los datos sobre el agua autosuministrada por las empresas se han obtenido combinando información proporcionada por el mismo Ayuntamiento y por la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE). La información necesaria para calcular el coste del agua autosuministrada ha sido facilitada por la CHE, mientras que la relativa al coste del agua de red ha sido proporcionada por el Ayuntamiento de Zaragoza. Finalmente, la información sobre las magnitudes económicas de las empresas ha sido extraída de la base de datos “Sistema de Análisis de Balances Ibéricos” (SABI) (<http://www.informa.es/en/financial-solutions/sabi>).

Los datos sobre el volumen de agua de red se han obtenido en base a las lecturas de los contadores de agua instalados por el servicio municipal de aguas en cada empresa. Los datos sobre el volumen de agua autosuministrada se han obtenido como diferencia entre el volumen vertido a la red municipal de alcantarillado, registrado a través del contador de vertido (en caso de existir), y el volumen captado de la red municipal de abastecimiento, registrado a través del contador de abastecimiento. Por este procedimiento obtenemos una aproximación al volumen de agua autosuministrada. En concreto, el dato que obtenemos representa un volumen mínimo, ya que puede haber agua que se haya autosuministrado pero que no se haya vertido a la red de alcantarillado, por ejemplo, por incorporación al producto final, por evaporación, por vertido a cauces fluviales o por vertido al propio acuífero (como ocurre típicamente en los sistemas de refrigeración -geotermia-). Por este motivo, estos datos se han complementado con la información proporcionada por la CHE

sobre los aprovechamientos de aguas subterráneas inscritos en el Registro de Aguas, donde para cada empresa que cuenta con autorización administrativa para la explotación de aguas subterráneas se da cuenta del volumen máximo anual autorizado. De este modo, se ha podido validar los datos anteriores y se han completado los de algunas empresas cuyo autosuministro no se revelaba a partir de los datos del Ayuntamiento (presumiblemente porque el agua autosuministrada no la vierten a la red municipal de alcantarillado). Disponiendo de esta información, es inmediato generar una variable dicotómica con valor 1 si la empresa recurre al autosuministro y 0 en caso contrario.

Para calcular el coste del agua autosuministrada ha sido necesario, en primer lugar, disponer de información sobre la profundidad del acuífero en el punto donde está localizada cada empresa y sobre el caudal de agua autosuministrada. Por un lado, a partir de las coordenadas geográficas extraídas de SABI para cada empresa, la oficina de Zaragoza del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), en colaboración con la CHE, nos ha facilitado el dato de la profundidad del acuífero, basándose en los trabajos de IGME (2005) y Moreno *et al.* (2008). Por otro lado, el caudal de agua autosuministrada de cada empresa lo hemos estimado a partir de su volumen de agua autosuministrada, asumiendo que bombean 16 horas al día, según el estándar adoptado por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente [MAGRAMA (2009)] para las captaciones realizadas por las industrias.

El coste fijo unitario del agua autosuministrada (CFUA) lo calculamos, siguiendo a MAGRAMA (2009), del siguiente modo:

$$\text{CFUA} = \frac{T + \text{CC} + \text{CB} + G}{V} \quad (4.1)$$

donde T es la tasa administrativa que los usuarios deben pagar al organismo de cuenca una única vez al tramitar la autorización de la explotación del agua subterránea (en el caso del Ebro, la CHE), que suponemos tiene una vigencia de 20 años, según lo establecido en el Decreto 140/1960 [España (1960)]; CC son los costes de construcción del pozo (perforación, entubado y acabado del pozo), suponiendo que se amortizan a 20 años; CB son los costes de inversión en maquinaria de elevación (equipo de bombeo), que se supone amortizados a los 10 años; G son los gastos de operación y mantenimiento (que se suponen un 2% del coste de la inversión); y V es el volumen anual de agua autosuministrada.

El coste de construcción del pozo lo hemos calculado en función de la profundidad a la que se sitúa el acuífero, mientras que el coste del equipo de bombeo lo hemos obtenido en función de la potencia necesaria de las bombas, utilizando la siguiente aproximación de Custodio y Llamas (1983):

$$P = \frac{h \cdot Q}{r \cdot 75} \quad (4.2)$$

donde P es la potencia (en caballos de vapor); h es la altura manométrica (en metros), que igualamos a la profundidad del acuífero; Q es el caudal (en litros por segundo); r

es el rendimiento de la bomba de elevación, que se considera igual al 70 % en todos los casos ($r = 0,70$); y la inclusión de la constante 75 en el denominador permite pasar de kilográmetros por segundo a caballos de vapor. El coste del equipo de bombeo varía entre 1.844 €, a precios de 2012, para los equipos de 0,5 caballos de vapor y 10.850 € para los equipos de más de 100 caballos de vapor, de acuerdo con MAGRAMA (2009).

El coste variable medio del agua autosuministrada (CVMA) es el coste de la energía necesaria para captar un metro cúbico de agua más, en su caso, el coste impuesto por la tasa municipal de saneamiento a las empresas que vierten ese agua, tras su uso, a la red municipal de alcantarillado.

El coste de la energía por metro cúbico de agua extraída (CUE) lo hemos calculado de acuerdo a Custodio y Llamas (1983), como sigue:

$$\text{CUE} = 0,002726 \frac{h \cdot k}{r} \quad (4.3)$$

donde h es la altura manométrica (en metros); k es el precio de la energía (€/Kwh), aproximado por el precio medio de la electricidad en España [Eurostat (2016)]; r es el rendimiento de la bomba de elevación (nuevamente fijado en el 70 %); y la constante 0,002726 es el consumo de energía (Kwh) en el que se incurre por elevar en un metro un m^3 de agua.

El coste de saneamiento lo hemos obtenido aplicando la tarifa municipal de saneamiento al volumen de agua autosuministrada. Este coste no se aplica a las empresas que no vierten esta agua a la red municipal.

El coste fijo unitario del agua de red (CFUR) lo hemos obtenido dividiendo la cuota fija de la factura del agua de red, por abastecimiento y saneamiento, entre el volumen captado de este tipo de agua. A su vez, el coste variable medio del agua de red (CVMR) lo hemos calculado dividiendo la cuota variable de la factura del agua de red, por abastecimiento y saneamiento, entre el volumen captado.

Finalmente, la información obtenida de SABI nos ha permitido conocer el valor de la producción (ingresos de explotación) y la rama de actividad a la que pertenece cada empresa. A partir de este último dato, generamos una variable dicotómica que toma valor 1 si la empresa pertenece al sector industrial y 0 en caso contrario (si se trata de una empresa de construcción o de servicios).

Con esta información es posible conocer el coste de autosuministro de aquellas empresas que recurren a esta fuente de abastecimiento y el coste del agua de red de cada una de las empresas de la muestra. Además, estimamos el coste en el que incurrirían las empresas que únicamente captan agua de la red si decidiesen autosuministrarse y el coste de las empresas que emplean agua autouministrada si decidiesen sustituirla por agua de red. Para ello, adoptamos los siguientes supuestos: a las empresas que sólo se suministran de la red, les imputamos un CFUA y un CVMA equivalentes al que soportarían si empleasen un porcentaje de agua autosuministrada sobre el total de agua captada igual

al de la media de las empresas que sí se autosuministran; a las empresas que usan agua autosuministrada, les asignamos un CFUR y un CVMR equivalente al que tendrían si captasen a través de la red el volumen que ahora captan a través del autosuministro.

En la Tabla 4.3 se presenta una breve estadística descriptiva de las variables que posteriormente van a ser incluidas en el modelo, distinguiendo entre el total de empresas (agregado) y aquellas que se autosuministran. Podemos comprobar que estas últimas tienen una producción ocho veces superior a la media de la muestra y que más de la mitad de ellas pertenecen al sector industrial, mientras que en el conjunto de la muestra sólo el 11 % son empresas industriales.

Tabla 4.3: Estadística descriptiva básica de las variables fundamentales. Año 2012

Variable	Descripción	Valores medios para el agregado		Valores medios para las empresas que recurren al autosuministro	
VA	Volumen de agua autosuministrada (m ³)	300,12	(7.717,87)	19.732,64	(60.114,48)
DA	= 1 si la empresa de autosuministra; = 0 en caso contrario	0,0155	-	1,00	-
CFUA	Coste fijo unitario del agua autosuministrada (€/m ³)	34,14	(262,84)	7,61	(29,58)
CVMA	Coste variable medio del agua autosuministrada (€/m ³)	0,68	(0,27)	0,82	(0,65)
CFUR	Coste fijo unitario del agua de red (€/m ³)	4,52	(30,30)	16,69	(71,85)
CVMR	Coste variable medio del agua de red (€/m ³)	1,38	(0,59)	2,95	(0,32)
Y	Valor de la producción (miles €)	1.503,31	(10.500,00)	12.100,00	(20.500,00)
DI	= 1 si la empresa pertenece al sector industrial; = 0 en caso contrario	0,11	-	0,55	-

Nota: Entre paréntesis se muestra la desviación estándar.

El coste fijo unitario de autosuministro para las empresas que se autosuministran (7,61 €/m³) es sustancialmente menor que el del total de empresas (34,14 €/m³). Por el contrario, el coste variable medio de autosuministro no sufre grandes variaciones entre unas y otras empresas debido a que, como se observa en la Tabla 4.4, la diferencia en la profundidad del acuífero entre las empresas que se autosuministran y las que no extraen agua del acuífero es pequeña (16,50 m y 19,91 m, respectivamente).

En cuanto al coste del agua de red, comprobamos cómo las empresas que se autosuministran se enfrentan a un precio sustancialmente superior al de las que únicamente captan agua de la red (más del triple en el coste fijo unitario y más del doble en el coste variable medio). Esto es debido a que las empresas que se autosuministran captan un mayor volumen de agua, tanto autosuministrada como de red, y son penalizadas por la tarifa municipal de abastecimiento y saneamiento en sus dos partes: la parte fija, porque es creciente en función del diámetro de la tubería de conexión a la red, y la parte variable, porque los precios son crecientes con el consumo.

En la Tabla 4.4 se analiza el uso del agua autosuministrada y del agua de red. Comprobamos que sólo 44 de las 2.893 empresas de nuestra muestra (el 1,55%) recurren al autosuministro. En el sector industrial, este porcentaje alcanza el 7,48%, mientras que en los sectores de construcción y servicios no llega al 1%.

Tabla 4.4: Principales magnitudes relacionadas con el uso de agua.
Promedio por empresa para el año 2012

	Agregado	Industria	Construcción	Servicios
Empresas con autosuministro	44	24	2	18
Empresas sin autosuministro	2.849	297	356	2.196
Porcentaje de empresas con autosuministro (%)	1,55	7,48	0,56	0,81
Para el conjunto de empresas:				
Cantidad de agua de red (m ³)	366,78	550,38	93,30	384,38
Cantidad de agua autosuministrada (m ³)	300,12	882,07	26,22	260,03
Total de agua empleada (m ³)	666,89	1.432,45	119,52	644,41
Porcentaje de agua autosuministrada (%)	45,00	61,58	21,94	40,35
Cantidad de agua autosuministrada por € de valor de producción (l/€)	0,25	0,31	0,01	0,28
Cantidad de agua de red por € de valor de producción (l/€)	0,75	0,30	0,32	0,89
Profundidad acuífero (m)	19,85	19,65	20,15	19,83
En las empresas con autosuministro:				
Cantidad de agua de red (m ³)	4.735,19	1.619,90	1.973,05	9.195,83
Cantidad de agua autosuministrada (m ³)	19.732,64	11.797,66	4.693,50	31.983,63
Total de agua empleada (m ³)	24.467,84	13.417,56	6.666,55	41.179,46
Porcentaje de agua autosuministrada (%)	80,65	87,93	70,40	77,67
Cantidad de agua autosuministrada por € de valor de producción (l/€)	4,47	4,17	1,66	5,23
Cantidad de agua de red por € de valor de producción (l/€)	0,71	0,18	0,51	1,45
Profundidad acuífero (m)	16,50	16,89	19,19	15,69
En las empresas sin autosuministro:				
Cantidad de agua de red (m ³)	299,31	463,96	82,74	312,15
Cantidad de agua de red por € de valor de producción (l/€)	0,75	0,31	0,31	0,88
Profundidad acuífero (m)	19,91	19,92	20,16	19,87

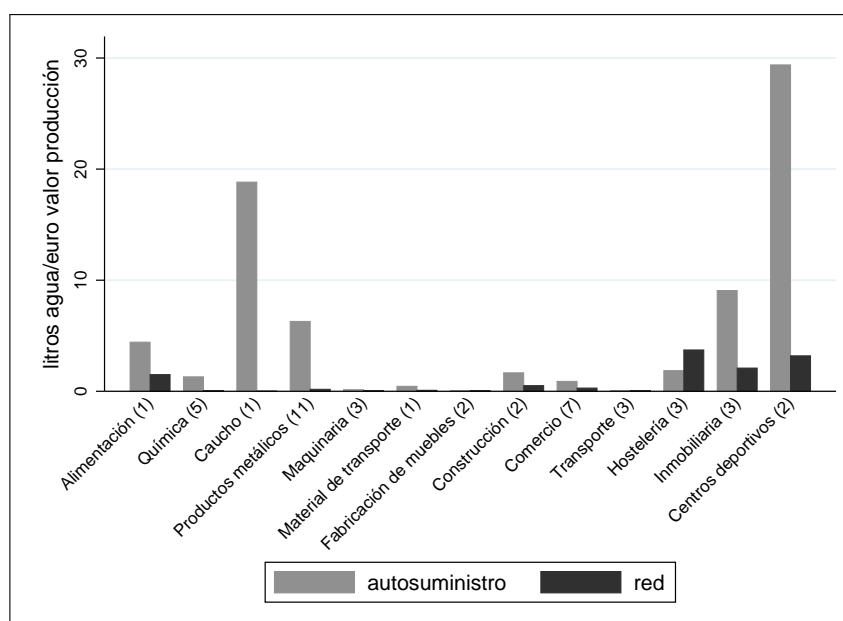
Para las empresas que recurren al autosuministro, el 80,65% del agua que emplean es autosuministrada. De nuevo, este porcentaje es mayor en las empresas industriales

(87,93 %) que en las de construcción y servicios (70,40 % y 77,67 %, respectivamente). Sin embargo, el volumen de agua autosuministrada por euro de valor de producción es mayor en las empresas pertenecientes al sector servicios (5,23 l/€) que en la industria y la construcción (4,17 l/€ y 1,66 l/€, respectivamente).

Parece claro que las empresas que recurren al autosuministro utilizan un volumen total de agua por euro de valor de producción muy superior al de las empresas que sólo emplean agua de red. Mientras que estas últimas utilizan 0,75 l/€, las empresas que se autosuministran emplean 5,18 l/€ (de los cuales 4,47 l/€ son de autosuministro y 0,71 l/€ de red). El hecho de que las empresas que recurren al autosuministro sean menos intensivas en el uso de agua de red (en particular las empresas del sector industrial) que las que sólo recurren al suministro público apunta a una posible relación de sustitución entre ambos tipos de agua.

La Figura 4.2 distribuye las 44 empresas que se autosuministran por ramas de actividad. En vertical se indica el consumo de agua (autosuministrada y de red) por euro de valor de producción.

Figura 4.2: Uso de agua por euro de valor de producción de las empresas que recurren al autosuministro y por ramas de actividad



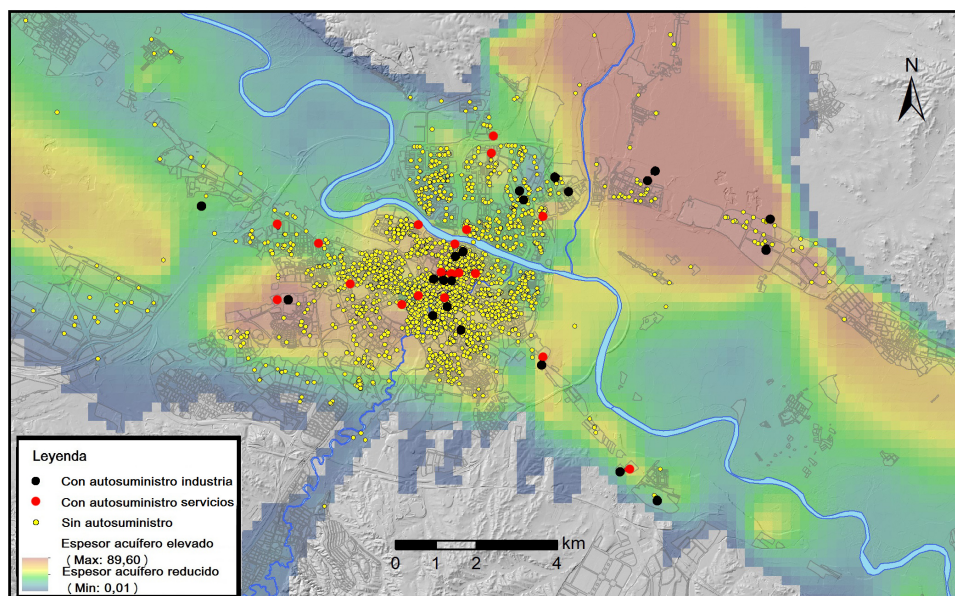
Nota: Entre paréntesis se muestra el número de empresas de la muestra que pertenecen a cada rama de actividad.

Entre las actividades más intensivas en agua autosuministrada destacan la gestión de centros deportivos, la industria del caucho, las actividades inmobiliarias (en nuestra muestra se corresponden con empresas de alquiler de bienes inmobiliarios, cuyo modelo de negocio se asemeja a la de los establecimientos hoteleros), la fabricación de productos metálicos y la industria alimentaria. Todas estas actividades se caracterizan por emplear

grandes volúmenes de agua y por utilizar una buena parte de ellos para usos que no requieren una elevada calidad, como la refrigeración, el llenado de piscinas o la limpieza y transporte de materias primas. Por otra parte, las actividades más intensivas en agua de red son la hostelería y, de nuevo, la gestión de centros deportivos, las actividades inmobiliarias y la industria alimentaria.

En la Figura 4.3 se muestra la localización de las empresas de la muestra, distinguiendo las que se autosuministran de las que no lo hacen; se indica también si pertenecen al sector industrial o al sector de servicios y construcción. Esta figura muestra igualmente el espesor del acuífero. Todas las empresas de la muestra están situadas sobre el acuífero de Zaragoza, principalmente en el núcleo urbano del municipio, aunque también hay un número significativo de empresas situadas en los polígonos industriales de la periferia. En su mayoría, las empresas con autosuministro se localizan en zonas de espesor medio, en torno a la veintena de metros.

Figura 4.3: Localización de las empresas de la muestra



Fuente: IGME, en colaboración con la CHE, empleando los trabajos de IGME (2005) y Moreno *et al.* (2008) para la obtención de los datos sobre el espesor del acuífero.

4.4 Especificación del modelo y estimación econométrica

Nuestra aproximación parte del supuesto de que las empresas son capaces de elegir sus fuentes de abastecimiento (red municipal o autosuministro) y la cantidad empleada de cada una de ellas, con el objetivo de minimizar los costes de producción. Para dar forma a este proceso de decisión se requiere de un modelo en dos etapas en el que, en primera instancia, la empresa resuelva la decisión relativa a autosuministrarse o no, y seguidamente, en caso afirmativo, decida el volumen de agua autosuministrada.

En la literatura podemos encontrar al menos tres alternativas para trabajar con datos censurados, como es nuestro caso: el modelo *tobit*, los modelos normal y lognormal truncados de Cragg (1971) y el modelo de doble valla de Heckman (1979). En nuestro caso, nos decantamos por el último, ya que es más general, permitiendo que los factores que determinan la decisión y el volumen de autosuministro sean distintos. Por ejemplo, es razonable pensar que los costes de inversión necesarios para poder autosuministrarse determinan la decisión de recurrir a esta fuente de abastecimiento, mientras que una vez que la empresa ha tomado esta decisión no deberían afectar al volumen de agua captada, ya que son fijos sea cual sea este volumen. Además, este modelo permite que los factores que determinan las decisiones en ambas etapas intervengan de forma diferente en cada decisión. Por ejemplo, es posible que las empresas pertenecientes al sector industrial tengan una mayor propensión a recurrir al autosuministro pero que, una vez que se ha tomado la decisión de autosuministrarse, sean las empresas de servicios las que capten un mayor volumen de este tipo de agua (tal como se aprecia en los datos de la Tabla 4.4).

El modelo de Heckman es bien conocido en la literatura económica, donde se ha utilizado con profusión en diferentes ámbitos, incluida la economía medioambiental. Como se ha dicho, el modelo consta de dos etapas. El objetivo de la primera etapa es determinar los factores de los que depende la decisión de autosuministrarse. Es decir, conocer la probabilidad de que una determinada empresa con unas características particulares (en nuestro caso, costes del agua autosuministrada y del agua de red, nivel de producción y sector de actividad) recurra al autosuministro. El problema se plantea analíticamente mediante una ecuación *probit* como la siguiente:

$$\begin{aligned} y_i > 0 \quad (h_i = 1) \quad \text{si } h_i^* > 0 \\ y_i = 0 \quad (h_i = 0) \quad \text{si } h_i^* \leq 0 \end{aligned} \quad \text{con } h_i^* = x'_{2i}\beta_2 + \varepsilon_{2i}; \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (4.4)$$

donde y_i es el volumen de agua autosuministrada; h_i es una variable dicotómica con valor 1 si la empresa efectivamente capta agua de este tipo y 0 en caso contrario; h_i^* es una variable latente, no observable, que representa la diferencia de utilidades reportada por ambas alternativas (esto es, recurrir al autosuministro o no) y que responde a una serie de características propias de cada empresa, recogidas en x_{2i} ; y N es el número de empresas en la muestra.

En consecuencia, la probabilidad de que una empresa recurra al autosuministro es:

$$P_i = P(h_i^* > 0) = P(\varepsilon_{2i} > -x'_{2i}\beta_2) = 1 - F(-x'_{2i}\beta_2) = F(x'_{2i}\beta_2) \quad (4.5)$$

donde $F(\cdot)$ es la distribución de la función de probabilidad del término de error ε_{2i} asociado a una función de densidad simétrica en torno a cero. Es habitual asumir que esta función de distribución es homogénea para grandes grupos de empresas tecnológicamente afines, como sectores productivos o similares. En nuestro caso, vamos a asumir que la función de distribución es homogénea para todas las empresas localizadas en el municipio de Zaragoza.

El objetivo de la segunda etapa es tratar de explicar la decisión con respecto al volumen de agua que cada empresa decide autosuministrarse. Para ello utilizamos un modelo de regresión truncado, restringido sólo a las empresas que previamente han decidido hacer uso del autosuministro. Es decir:

$$y_i = y_i^* = x'_{1i}\beta_1 + \varepsilon_{1i} \quad \text{si } y_i > 0 \quad (h_i = 1) \quad (4.6)$$

donde x'_{1i} recoge las características relevantes de la empresa. Los términos de error, ε_{1i} y ε_{2i} , están forzosamente relacionados, por lo que es habitual suponer una distribución conjunta:

$$(\varepsilon_{1i}, \varepsilon_{2i}) \sim \text{BVN}(0, \Omega) \quad \text{donde } \Omega = \begin{bmatrix} \sigma^2 & \rho\sigma \\ \rho\sigma & 1 \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

siendo BVN una normal bivalente y ρ el coeficiente de correlación. Por simplicidad, asumimos, como es habitual, que las varianzas (σ^2) se han estandarizado para que la del segundo error sea la unidad.

En consecuencia, la ecuación que caracteriza la decisión sobre el volumen de agua autosuministrada es la siguiente:

$$y_i = x'_{1i}\beta_1 + \rho\sigma \frac{\phi(-x'_{2i}\beta_2)}{1 - \Phi(-x'_{2i}\beta_2)} + \eta_i \quad (4.8)$$

donde $\phi(\cdot)$ y $\Phi(\cdot)$ son la función de densidad y la función de distribución, respectivamente, de una variable aleatoria normal tipificada; η_i es un término de perturbación aleatoria; y $\phi(-x'_{2i}\beta_2)/1 - \Phi(-x'_{2i}\beta_2)$ es el denominador inverso del ratio de Mills (IRM) que corrige el sesgo originado al considerar únicamente las empresas que recurren al autosuministro.

Una vez estimado el modelo propuesto, se interpretarán los resultados obtenidos calculando el efecto marginal de cada variable sobre la probabilidad de autosuministrarse, sobre el volumen condicionado de autosuministro y sobre el volumen incondicionado de autosuministro.

El modelo *probit* de la primera etapa permite estimar la probabilidad de que una empresa se decida por el autosuministro, teniendo en cuenta el supuesto de normalidad con respecto a los términos de error; esto es:

$$P_i = P(y_i > 0) = \Phi(x'_{2i}\beta_2) = 1 - \Phi(-x'_{2i}\beta_2) \quad (4.9)$$

El volumen condicionado de agua autosuministrada se define como el volumen esperado de agua autosuministrada, condicionado a que dicho volumen sea positivo (es decir, a que la empresa haya decidido autosuministrarse):

$$E(y_i|y_i > 0) = x'_{1i}\beta_i + m_i \frac{\phi(-x'_{2i}\beta_2)}{1 - \Phi(-x'_{2i}\beta_2)} \quad (4.10)$$

siendo m_i el parámetro estimado asociado al IRM, que muestra la importancia del llamado sesgo de selección muestral que se produce cuando los factores no observados que influyen en la probabilidad de participación (en nuestro caso, en la decisión de autosuministrarse) están correlacionados con los factores explicativos de la segunda etapa (en nuestro caso, la decisión sobre el volumen de agua autosuministrada).

El volumen incondicionado de agua autosuministrada se obtiene al combinar toda la información anterior:

$$\begin{aligned} E(y_i) &= P(y_i > 0)E(y_i|y_i > 0) + P(y_i = 0)E(y_i|y_i = 0) \\ &= x'_{1i}\beta_1(1 - \Phi(-x'_{2i}\beta_2)) + m_i\phi(-x'_{2i}\beta_2) \end{aligned} \quad (4.11)$$

También es posible estimar los efectos de las diferentes variables explicativas sobre la probabilidad y sobre el volumen de autosuministro. Para las variables continuas, estos efectos se obtienen calculando las derivadas parciales de la forma usual; es decir, en lo que respecta a la probabilidad de participación:

$$\frac{\partial P_i}{\partial x_{hi}} = \frac{\partial P(y_i > 0)}{\partial x_{hi}} = \phi(x'_{2i}\beta_2)\beta_{2h} \quad (4.12)$$

El efecto sobre el volumen condicionado de agua autosuministrada es:

$$\frac{\partial E(y_i|y_i > 0)}{\partial x_{hi}} = \beta_{1h} - m_i \left[\left(\frac{\phi(-x'_{2i}\beta_2)}{1 - \Phi(-x'_{2i}\beta_2)} \right)^2 - (-x'_{2i}\beta_2) \frac{\phi(-x'_{2i}\beta_2)}{1 - \Phi(-x'_{2i}\beta_2)} \right] \beta_{2h} \quad (4.13)$$

Finalmente, el efecto sobre el volumen incondicionado de agua autosuministrada se obtendrá como:

$$\begin{aligned} \frac{\partial E(y_i)}{\partial x_{hi}} &= \frac{\partial P(y_i > 0)E(y_i|y_i > 0)}{\partial x_{hi}} \\ &= \frac{\partial P(y_i > 0)}{\partial x_{hi}} E(y_i|y_i > 0) + \frac{\partial E(y_i|y_i > 0)}{\partial x_{hi}} P(y_i > 0) \end{aligned} \quad (4.14)$$

En el caso de las variables *dummy*, los efectos derivados de las diferentes variables se obtienen como la diferencia en la probabilidad de autosuministro (o en el volumen de

agua autosuministrada) en los dos estados que corresponden a la variable dicotómica. Es decir, se evalúan las ecuaciones (4.9), (4.10) y (4.11) cuando las variables *dummy* toman valor 1 y 0.

La aplicación del modelo de Heckman a nuestro caso de estudio se concreta en la siguiente ecuación *probit* para la primera etapa:

$$\begin{aligned} VA_i > 0 \text{ (} DA_i = 1 \text{) si } DA_i^* > 0 \\ VA_i = 0 \text{ (} DA_i = 0 \text{) si } DA_i^* \leq 0 \end{aligned} \quad \text{con } DA_i^* = x'_{2i}\beta_2 + \varepsilon_{2i}; \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (4.15)$$

donde:

$$\begin{aligned} x'_{2i}\beta_2 = & \beta_{2,1} + \beta_{2,CFUA}CFUA_i + \beta_{2,CVMA}CVMA_i \\ & + \beta_{2,CFUR}CFUR_i + \beta_{2,CVMR}CVMR_i + \beta_{2,Y}Y_i + \beta_{2,DI}DI_i \end{aligned}$$

siendo VA el volumen de agua autosuministrada y DA una variable dicotómica que toma valor 1 si la empresa recurre al autosuministro y 0 en caso contrario. CFUA es el coste fijo unitario de autosuministro, CVMA el coste variable medio de autosuministro, CFUR el coste fijo unitario del agua de red, CVMR el coste variable medio del agua de red, Y el valor de la producción y DI una variable dicotómica que toma valor 1 si la empresa pertenece al sector industrial y 0 en caso contrario. Las variables continuas se han introducido en el modelo tomando logaritmos neperianos.

La decisión sobre el volumen de agua autosuministrada se aproxima mediante la siguiente ecuación:

$$VA_i = x'_{1i}\beta_1 + \rho\sigma \frac{\phi(-x'_{2i}\beta_2)}{1 - \Phi(-x'_{2i}\beta_2)} + \eta_i \quad \text{con } VA_i > 0 \quad (4.16)$$

donde:

$$x'_{1i}\beta_1 = \beta_{1,1} + \beta_{1,CVMA}CVMA_i + \beta_{1,CVMR}CVMR_i + \beta_{1,Y}Y_i + \beta_{1,DI}DI_i$$

4.5 Resultados

La estimación de los coeficientes de las ecuaciones (4.15) y (4.16) se muestra en la Tabla 4.5. Funciona mejor la ecuación de la primera etapa (decisión de autosuministrarse) que la de la segunda, dedicada al volumen de agua autosuministrada. El coeficiente pseudo-R² de McFadden (1974) para el *probit* es 0,69, mientras que el coeficiente de determinación para la segunda ecuación es 0,11; en ambos casos se trata de valores similares a los obtenidos por otros trabajos que aplican este tipo de modelos en el ámbito de la economía medioambiental [véase, por ejemplo, Féres *et al.* (2012) o Giannoccaro *et al.* (2016)].

Tabla 4.5: Modelo de Heckman en dos etapas. Resultados de la estimación

Primera etapa (DA)			Segunda etapa (VA)		
$\beta_{2,1}$	-5,28	(0,00)	$\beta_{1,1}$	-4,41	(0,32)
$\beta_{2,CFUA}$	-0,30	(0,01)			
$\beta_{2,CFUR}$	0,56	(0,00)			
$\beta_{2,CVMA}$	-0,52	(0,00)	$\beta_{1,CVMA}$	-0,01	(0,98)
$\beta_{2,CVMR}$	2,52	(0,00)	$\beta_{1,CVMR}$	7,01	(0,01)
$\beta_{2,Y}$	0,11	(0,12)	$\beta_{1,Y}$	0,35	(0,02)
$\beta_{2,DI}$	0,57	(0,01)	$\beta_{1,DI}$	-0,49	(0,43)
m_i				3,69	(0,71)
Wald $\chi(4)$				11,77	
Pseudo-R ²	0,69				
R ²				0,11	

Nota: Entre paréntesis se muestra el p-valor, excepto para el parámetro asociado al inverso del ratio de Mills (m_i), para el que se muestra la desviación estándar.

El coeficiente del inverso del ratio de Mills (IMR) es positivo y significativo, indicando la presencia del denominado sesgo de selección de la muestra. Por tanto, si las dos ecuaciones (decisión de autosuministro y volumen de autosuministro) se hubiesen estimado por separado sin introducir el IMR, la estimación de los parámetros del modelo estaría sesgada.

Los resultados de la primera ecuación indican que un incremento de los costes de inversión en autosuministro ($\beta_{2,CFUA}$) o del coste variable medio de agua autosuministrada ($\beta_{2,CVMA}$) reduce la probabilidad de recurrir al autosuministro. Este resultado es acorde con el obtenido por Renzetti (1993) para el agua autosuministrada y por Bruneau y Renzetti (2014) para el agua reutilizada.

Por el contrario, un incremento de la cuota fija unitaria de acceso a la red de abastecimiento público ($\beta_{2,CFUR}$) o del coste variable medio del agua de red ($\beta_{2,CVMR}$) aumenta la probabilidad de autosuministrarse, como vía para reducir el coste en *inputs* hídricos. Este resultado está en línea con el obtenido por Renzetti (1993) para el agua autosuministrada (aunque, en su caso, estas variables no son significativas) y por Fères *et al.* (2012) y Bruneau y Renzetti (2014) para el agua reutilizada.

El coeficiente de la variable *output* ($\beta_{2,Y}$) tiene un signo positivo, aunque sólo es estadísticamente significativo para un nivel de significación del 12% en la ecuación de decisión.

Renzetti (1993) también obtiene un bajo nivel de significatividad para esta variable, mientras que Bruneau *et al.* (2010), Fères *et al.* (2012) y Bruneau y Renzetti (2014) concluyen que el nivel de producción sí que es un factor determinante en la decisión de reutilización. En nuestro caso, pese a que el signo de este parámetro es el esperado, apuntando a que un mayor nivel de producción aumenta la probabilidad de recurrir al autosuministro, no podemos obviar su escasa significatividad. De hecho, entendemos que esta decisión depende, fundamentalmente, de otros factores relacionados con el coste de los diferentes *inputs* hídricos y con el sector de actividad, no tanto del volumen de producción esperado.

Las empresas que pertenecen al sector industrial ($\beta_{2,DI}$) tienen una mayor probabilidad de recurrir al autosuministro, en comparación con las empresas de los sectores de construcción y servicios. Este resultado, aunque esperado, es novedoso en la literatura ya que ningún trabajo hasta la fecha ha analizado el autosuministro de agua en los sectores de la construcción y los servicios. En nuestra opinión, este resultado puede deberse a varios factores. Uno de ellos es el uso del agua predominante en cada sector. Así, mientras las empresas industriales dedican volúmenes significativos de agua a trabajos que no requieren una elevada calidad (refrigeración, lavado, transporte de materias primas,...), las empresas de servicios suelen emplear el agua para usos de tipo sanitario que requiere de agua potable y sólo en el caso de grandes edificios especializados (hoteles, centros comerciales,...) se emplea para refrigeración. Otro motivo es la localización. Las empresas industriales tienden a localizarse en polígonos de la periferia urbana en edificios de uso exclusivo con acceso directo al subsuelo, mientras que gran parte de las empresas de servicios suelen ubicarse en el casco urbano, en edificios de usos múltiples sin acceso directo al subsuelo (ubicación en altura dentro de un edificio de varias plantas o en edificios con garajes subterráneos).

En los resultados de la segunda ecuación observamos que el coeficiente del coste variable medio del agua autosuministrada ($\beta_{1,CVMA}$), pese a tener signo negativo, no es estadísticamente significativo. La falta de significatividad de esta variable está en línea con los resultados obtenidos previamente en la literatura para el agua autosuministrada [Renzetti (1993), Reynaud (2003)]; en cambio, en el caso del agua reutilizada los resultados apuntan a que un aumento en esta variable sí afecta de modo significativo negativamente al volumen de agua procesada [Renzetti (1988, 1992a), Dupont y Renzetti (1998), Bruneau *et al.* (2010), Bruneau y Renzetti (2014)].

La literatura de aplicación atribuye habitualmente la falta de significatividad de las elasticidades precio a un reducido coste unitario del agua y a su escasa importancia en los costes totales de la empresa [Reynaud (2003)]. En nuestro caso y para el conjunto de empresas que se autosuministran, observamos que el coste variable medio del agua autosuministrada es 0,82 €/m³ y que su coste representa el 0,32% de los costes totales. Otra razón que puede añadirse a la anterior es que resulta poco probable que un incremento moderado del CVMA disuada a una empresa de utilizar agua autosuministrada, una vez que ha tomado la decisión de autosuministrarse y ha llevado a cabo las inversiones necesarias; sobre todo, en un contexto como el del caso de estudio, donde el coste energético

necesario para captar un metro cúbico de agua es muy reducido en comparación con el precio que debe pagarse por el agua de red.

El coeficiente asociado al coste variable medio del agua de red ($\beta_{1,CVMR}$) es estadísticamente significativo y viene con el signo esperado, positivo, indicando que ante un incremento en el precio del agua de red, las empresas tienden a sustituir agua de red por agua autosuministrada. Esta posibilidad de sustitución entre *inputs* hídricos está en línea con resultados similares obtenidos al analizar la relación entre el agua reutilizada y el agua captada [Renzetti (1988, 1992a), Dupont y Renzetti (1998, 2001), Bruneau *et al.* (2010), Féres *et al.* (2012)]; por el contrario, Reynaud (2003) concluye que el agua de red y el agua autosuministrada son complementarias, aunque las elasticidades que obtiene no son significativas.

A nuestro entender, la sustituibilidad entre ambos tipos de agua no hace sino reflejar la disyuntiva a la que se enfrenta toda empresa que cuenta con instalaciones para el autosuministro: utilizar agua de red o agua autosuministrada para atender sus necesidades productivas, excepto en los casos en que una parte del agua se emplea para usos que requieren una elevada calidad y obligan a recurrir al agua de red.

La demanda de agua autosuministrada también se ve positivamente influida por el nivel de producción ($\beta_{1,Y}$), indicando que las empresas de mayor tamaño emplean mayores volúmenes de este tipo de agua. Este resultado es acorde con los obtenidos en la literatura previa [Renzetti (1988, 1993), Dupont y Renzetti (1998, 2001), Reynaud (2003), Bruneau *et al.* (2010), Féres *et al.* (2012)] y refleja el hecho de que un mayor nivel de producción requiere la utilización de una mayor cantidad de agua; algo que también se ha comprobado por la literatura que analiza la demanda de agua de red [véase, por ejemplo, Renzetti (2002) o Worthington (2010)].

El coeficiente de la variable dicotómica relativa al sector de actividad ($\beta_{1,DI}$) tiene signo negativo, aunque no es significativo. Esta falta de significatividad indica que, pese a que las empresas industriales tienen una mayor probabilidad de recurrir al autosuministro (según se desprende de los resultados de la primera ecuación), una vez que se ha tomado la decisión de autosuministrarse, el sector de actividad no determina el volumen de agua captado. La explicación se encuentra en que, aunque la mayoría de empresas de construcción y servicios sólo emplean agua de red, las que deciden autosuministrarse emplean este tipo de agua para fines que requieren elevados volúmenes, como refrigeración o llenado de piscinas, entre otros. Por otra parte, el signo negativo de esta variable puede estar influenciado por el hecho de que las empresas industriales que recurren al autosuministro tienen un menor tamaño que las de construcción y servicios que también lo hacen, tanto por el valor de la producción (11,8 millones de € en la industria y 12,5 millones de € en la construcción y servicios), como por el número de empleados (63 en la industria y 116 en la construcción y servicios).

En la Tabla 4.6 se muestran los efectos marginales sobre la probabilidad y sobre el volumen, condicionado e incondicionado, de agua autosuministrada, calculados a partir de los resultados de la Tabla 4.5 y aplicando las ecuaciones (4.12), (4.13) y (4.14).

Tabla 4.6: Efectos marginales sobre la probabilidad, el volumen condicionado y el volumen incondicionado de agua autosuministrada

	Efecto sobre la probabilidad de autosuministro	Efecto sobre el volumen condicionado de agua autosuministrada	Efecto sobre el volumen incondicionado de agua autosuministrada (Efecto total)
CFUA	-0,000341	-	-
CFUR	0,000632	-	-
CVMA	-0,000589	-0,12	-0,000625
CVMR	0,002854	7,55	0,005176
Y	0,000119	0,37	0,000235
DI	0,006485	-521,36	88,79

La primera columna muestra que un incremento de un 1% en el CFUA y el CVMA reduce la probabilidad de autosuministro en un -0,000341% y un -0,000589%, respectivamente. Por el contrario, un incremento de un 1% en el CFUR, el CVMR y el nivel de producción, así como la pertenencia al sector industrial, aumenta la probabilidad de autosuministro en un 0,000632%, un 0,002854%, un 0,000119% y un 0,006485%, respectivamente. Comprobamos que la actividad que desarrolla la empresa y el coste variable medio del agua de red son los factores que más influyen en la decisión de recurrir al autosuministro. Estos valores son similares, por lo reducido de su cuantía (inferiores a 0,01), a los obtenidos por la literatura en el ámbito de la economía medioambiental [véase, por ejemplo, Deressa *et al.* (2011), Beltran *et al.* (2013) y Raggi *et al.* (2013)]. La reducida magnitud de estos efectos indica que, ante una variación en alguna de las variables de nuestro modelo, pocas serán las empresas que decidan autosuministrarse.

Si atendemos al efecto de las variables sobre el volumen de agua autosuministrada en aquellas empresas que ya han tomado la decisión de autosuministrarse (efecto condicionado), observamos que un incremento de un 1% en el CVMA reduce el volumen de agua autosuministrada en un -0,12% (debe recordarse que el coeficiente de esta variable en la segunda ecuación del modelo de Heckman no es significativa). Además, un incremento de un 1% en el CVMR o en el nivel de producción aumentan el volumen de agua autosuministrada en un 7,55% y 0,37%, respectivamente. Finalmente, las empresas que pertenecen al sector industrial emplean 521,36 m³ menos de agua autosuministrada que las pertenecientes a la construcción y los servicios, aunque este efecto tampoco resulta estadísticamente significativo en el modelo estimado. El fuerte impacto que tiene el precio del agua de red sobre el volumen de agua autosuministrada (CVMR) refleja que, una vez que una empresa ha realizado las inversiones necesarias para poder autosuministrarse, cualquier cambio en la tarifa del agua de red le lleva a una intensa sustitución de agua de red por agua autosuministrada.

En la última columna de la Tabla 4.6 se muestra el efecto sobre el volumen incondicionado de agua autosuministrada (el denominado efecto total). De nuevo, la reducida magnitud de estos efectos se debe al pequeño número de empresas de la muestra que recurren al autosuministro. En este caso, igual que sucede con los otros dos efectos calculados, las variables que ejercen un mayor impacto son el CMVR (elasticidad de 0,005176) y la pertenencia al sector industrial (que supone un consumo de 88,79 m³ adicionales).

4.6 Conclusiones

Este capítulo ha analizado los determinantes de la demanda de agua autosuministrada, en un proceso en dos etapas. En primera instancia, se han examinado qué factores, y en qué medida, determinan la decisión de recurrir al autosuministro, para, en una segunda etapa, analizar los factores que condicionan el volumen de agua autosuministrada.

Los resultados obtenidos indican que la decisión de recurrir al autosuministro depende inversamente de su coste unitario, tanto fijo como variable. Dado que estos costes de autosuministro dependen, a su vez, principalmente de la profundidad del acuífero en el punto en el que se localiza cada empresa, se confirma que la localización es una variable decisiva en el acceso a las fuentes alternativas al suministro de red y, por tanto, se hace evidente el relevante papel que pueden desempeñar las políticas urbanísticas y de ordenación del territorio. En cambio, la tasa de autorización tiene muy escasa repercusión en el coste fijo y nula en el variable, ya que se paga una sola vez y tiene la misma cuantía para todos los usuarios, independientemente del volumen máximo autorizado de agua y del volumen efectivamente autosuministrado. Por tanto, esta tasa no puede utilizarse como instrumento de gestión directa de la demanda de agua autosuministrada. Dicha gestión depende exclusivamente de las autorizaciones administrativas y de la política de ordenación territorial.

Para disponer de un instrumento económico de gestión de la demanda de agua autosuministrada sería deseable complementar la actual tasa, cuya finalidad es cubrir los costes en que incurre el organismo de cuenca en la tramitación de la autorización de la explotación de aguas subterráneas, con otra semejante a la aplicada sobre los vertidos. De este modo, cada usuario sería gravado con carácter periódico en función del volumen de agua extraída del acuífero, en línea con lo que se hace en países como Australia, Bélgica, Francia, Holanda y Hungría [Roth (2001), OECD (2010)]. Esta nueva tasa, al hacer posible la repercusión a los usuarios de los costes ambientales y del recurso asociados a la extracción de agua, permitiría, además, cumplir con el principio de la recuperación de costes establecido en la Directiva Marco del Agua.

Comprobamos también que las empresas con un mayor coste del agua de red, tanto fijo como variable, tienen mayores incentivos a recurrir a fuentes alternativas al suministro público. Además, cuanto mayor es el coste variable del agua de red, mayor es el volumen de agua autosuministrada que emplean. Este resultado implica que los decisores públicos, si no tienen en cuenta la posibilidad de sustitución entre ambos tipos de agua, podrían

estar sobreestimando la eficacia del precio del agua de red como instrumento para reducir la presión sobre el recurso. Por tanto, aporta evidencia para seguir insistiendo en la conveniencia de la gestión integral del agua, en línea con la apuesta de la Directiva Marco del Agua por una gestión hídrica en la que se tengan en cuenta todas las masas de agua (tanto superficiales como subterráneas) y todas las actividades que puedan tener un impacto en el buen estado de los recursos hídricos. Para avanzar en esta línea deberían establecerse mecanismos institucionales para facilitar la coordinación entre los diversos organismos públicos con competencias sobre las distintas masas de agua y sobre los servicios asociados al ciclo del agua, que en España pertenecen a los tres niveles de la administración pública (ayuntamientos, comunidades autónomas y administración central).

Por otra parte, la sustituibilidad entre ambos tipos de agua indica que las empresas pueden reducir el volumen de agua captada de las redes de suministro público (que implica unos elevados costes de tratamiento, para garantizar su calidad, y de transporte hasta los puntos de consumo) sustituyéndola por agua de menor calidad captada de los acuíferos. Esto permite reservar el agua de la red de suministro público para aquellos usos que requieran una elevada calidad (como, por ejemplo, los usos domésticos). De este modo, siempre que los costes ambientales impuestos por las extracciones de agua de los acuíferos no sean relevantes, puede lograrse una asignación de recursos más eficiente y, por tanto, una ganancia de bienestar social.

La demanda de agua autosuministrada también se ve condicionada por el nivel de producción, de modo que, al igual que sucede con el agua de red, un mayor *output* implica un mayor uso de agua autosuministrada. Este resultado confirma el interés de las medidas dirigidas a desacoplar crecimiento económico y demanda de agua, por ejemplo, incentivando la investigación y la implantación de tecnologías que reduzcan la intensidad en el uso de agua en los procesos productivos.

Nuestros resultados también indican que las empresas industriales tienden a recurrir con mayor probabilidad al autosuministro y que, una vez tomada la decisión sobre la fuente de abastecimiento, son las empresas de construcción y servicios las que captan un mayor volumen de agua autosuministrada. Esto implica que los organismos públicos competentes deberían vigilar el comportamiento no sólo de las empresas industriales (potencialmente dañino por su elevada capacidad contaminante) sino, también, de los sectores de la construcción y los servicios, como posibles consumidores de grandes volúmenes de agua no procedentes de las redes públicas. En cualquier caso, el control cuantitativo y cualitativo de las masas de agua, como soporte y complemento de los demás instrumentos de intervención, es esencial para garantizar su buen estado.

Conclusiones

Esta tesis doctoral ha analizado los determinantes de la demanda de agua para actividades productivas no agrarias en España. Con ello se ha pretendido contribuir al mejor conocimiento sobre el uso de este recurso estratégico, así como al desarrollo de la metodología utilizada para su análisis.

En el Capítulo 1 hemos presentado la revisión de la literatura especializada en la demanda de agua en los sectores de la industria y los servicios. A continuación, hemos llevado a cabo tres aplicaciones empíricas con el fin de abordar el objetivo principal de esta tesis doctoral.

En el Capítulo 2 hemos estimado la demanda de agua de red para usos industriales en España, analizando 11 ramas de actividad y 4 tipos de regiones en función de su grado de aridez y del precio de acceso al recurso.

Entre las aportaciones de este capítulo destacan: la realización por primera vez de un estudio sobre los factores determinantes de la demanda de agua industrial para el conjunto de España; el análisis del efecto que tienen las diferencias sectoriales y regionales sobre la demanda de agua; y el rigor de la metodología empleada, teniendo una especial relevancia el análisis de integración y cointegración que se ha realizado para garantizar que la relación entre las variables del modelo es, efectivamente, de equilibrio a largo plazo.

Los resultados obtenidos indican que la demanda de agua es inelástica (la elasticidad precio directa es $-0,66$), pero suficientemente elevada como para que la política de precios pueda ser utilizada como instrumento para incentivar a los usuarios a reducir su consumo de agua. El análisis sectorial y regional que hemos realizado en este capítulo revela una notable heterogeneidad. Así, comprobamos que en un buen número de ramas de actividad la elasticidad precio directa no es significativa, y que en aquellas ramas con una mayor participación en costes del agua la demanda tiende a ser más elástica. Por otro lado, observamos que en las regiones áridas así como en las que tienen precios más altos la elasticidad precio directa es menor. La demanda de agua también se ve influida por el nivel de producción (elasticidad de $1,04$) y por el precio de los demás factores productivos, especialmente del *input* energía (elasticidad de $1,53$).

El Capítulo 3 se ha dedicado a estimar la demanda de agua de red para usos productivos en el municipio de Zaragoza, abarcando los sectores de la industria, la construcción y los servicios, y descendiendo al detalle de 24 ramas de actividad.

Los principales aspectos a destacar de este capítulo son: la utilización de un panel de microdatos obtenido de una amplia muestra de empresas (compuesta por aproxima-

damente 9.000 unidades); el análisis de la totalidad de las actividades productivas que se desarrollan en entornos urbanos, con un amplio nivel de desagregación; y la atención prestada a la especificación del precio del agua, utilizando el concepto de precio percibido y diversos test de selección de modelos para tratar de determinar si resulta más conveniente la utilización del precio medio o del marginal. En concreto, la evidencia que hemos encontrado se encuentra a favor del precio marginal.

Al igual que ocurría en el caso de la aplicación del Capítulo 2, obtenemos que la demanda de agua es inelástica (la elasticidad precio directa es $-0,86$) y que en muchas ramas de actividad esta elasticidad no es significativa. La demanda de agua también se ve afectada por el nivel de actividad económica (la elasticidad *output* es $0,73$) y por los precios de los demás factores productivos (siendo todos los *inputs* sustitutivos).

La comparación de los resultados de los capítulos segundo y tercero exige cierta cautela ya que existen diferencias relevantes entre ambos. En el Capítulo 2 trabajamos con datos agregados mientras que en el Capítulo 3 empleamos microdatos. Los problemas asociados a la agregación de datos son bien conocidos por la investigación en economía [Blundell y Stoker (2005), para una revisión comprensiva] aunque, hasta el momento, no han sido tratados en este ámbito (en concreto, no conocemos de ningún trabajo donde se haya contrastado si se obtienen mayores o menores elasticidades al emplear uno u otro tipo de datos). Además, el ámbito de estudio es la industria nacional en el Capítulo 2 y la totalidad de las actividades productivas no agrarias del municipio de Zaragoza en el Capítulo 3. También es diferente la especificación de algunas de las variables explicativas usadas en ambas especificaciones, como el capital y el precio del agua; así, en el caso de Zaragoza operamos con el precio marginal y el precio medio del agua, en tanto que en el caso de España únicamente podemos utilizar el precio medio. Pese a éstas y otras diferencias, las conclusiones que se derivan de ambos capítulos se encuentran en la misma línea.

El Capítulo 4 se ha destinado al análisis del autosuministro de agua para actividades productivas, analizando nuevamente el caso del municipio de Zaragoza.

Entre los rasgos que dotan a este capítulo de un especial interés destacan: la realización por primera vez de un estudio sobre esta fuente de abastecimiento para el caso de España; la disponibilidad de microdatos obtenidos de una amplia muestra de empresas que permite considerar la totalidad de las actividades productivas desarrolladas en un entorno urbano; y la metodología empleada, basada en un modelo en dos etapas que permite caracterizar tanto la decisión sobre la elección de las fuentes de suministro de agua como el volumen empleado de cada una de ellas.

Observamos que la probabilidad de recurrir al autosuministro es mayor cuanto mayor es el coste del agua de red y menor es el coste de autosuministro (el cual depende básicamente de la facilidad de acceso a las aguas subterráneas en el lugar en el que se localiza la empresa); esta probabilidad también aumenta en el caso de las empresas del sector industrial. El volumen de agua autosuministrada depende positivamente del coste variable del agua de red y del nivel de producción. Sin embargo, la demanda de agua

autosuministrada no se ve influida por el coste variable de autosuministro ni parece que el sector de actividad de la empresa tenga ninguna incidencia.

Los resultados de esta tesis doctoral tienen un indiscutible interés aplicado, especialmente para el diseño de las políticas de gestión del recurso. En primer lugar, comprobamos que la política de precios del agua de red es un instrumento eficaz para incentivar la conservación del recurso, aunque para conseguir una determinada reducción en la cantidad demandada de agua será necesario aplicar un incremento muy superior en el precio. Cuando descendemos al nivel de rama de actividad, observamos que los precios sólo son eficaces para reducir el uso de agua en aquellas ramas con mayor intensidad en el uso de este recurso. Esta eficacia va perdiendo fuerza conforme las empresas van reduciendo la intensidad en el uso de agua, algo que ha venido sucediendo en el periodo estudiado, según confirma el coeficiente asociado a la variable de tendencia temporal. De ello se desprende que las políticas de precios deberían complementarse con otros instrumentos, como la regulación o el apoyo financiero a la innovación tecnológica en equipamientos menos consumidores de agua, para lograr que todas las ramas de actividad contribuyan a la sostenibilidad del recurso y para compensar su pérdida de eficacia progresiva.

A diferencia del agua de red, la demanda de agua autosuministrada no depende del coste variable de este tipo de agua debido a su reducida magnitud. A nuestro entender, la razón principal es la ausencia de una tasa que con carácter periódico grave a cada usuario en función del volumen de agua autosuministrada. La implantación de una tasa de este tipo permitiría disponer de un instrumento económico de gestión de la demanda de agua autosuministrada proveniente de captaciones subterráneas y ayudaría a cumplir con el principio de recuperación de costes (en este caso, los costes ambientales y del recurso) establecido en la Directiva Marco del Agua.

Además, constatamos que existe una relación de sustituibilidad entre el agua de red y el agua autosuministrada que debería tenerse en cuenta a la hora de diseñar las políticas de precios del agua ya que, en caso contrario, se podría estar sobreestimando su eficacia para influir sobre el volumen total de agua demandada. Esto demuestra la conveniencia de una gestión integral del recurso, que implica la coordinación de actuaciones entre los distintos organismos públicos que intervienen sobre los distintos tipos de agua.

Las políticas de gestión del agua también deberían tener en consideración las posibilidades de sustitución del agua por otros factores productivos, especialmente en lo que respecta al binomio agua-energía. En este sentido, nuestros resultados indican que los incrementos en el precio del agua pueden llevar a los usuarios a sustituir agua de red por energía como consecuencia del uso de otras fuentes alternativas al suministro público que, habitualmente, llevan asociado un elevado consumo energético, o por la introducción de procesos más mecanizados que requieren un menor uso de agua pero conllevan un mayor consumo de energía. Por tanto, para evitar que las políticas dirigidas a reducir el consumo de agua de red tengan un efecto indeseado sobre el consumo de energía, deberían adoptarse medidas para favorecer la adopción por la industria de las tecnologías más eficientes en el uso de la energía vinculada al uso de agua. Simultáneamente, los incrementos en el

precio de la energía pueden implicar un mayor consumo de agua de red, dificultando las políticas de conservación del recurso.

La demanda de agua, tanto de red como autosuministrada, también depende positivamente del nivel de producción, por lo que las políticas para reducir el uso de agua de las empresas deberían incorporar instrumentos que permitan mitigar el impacto negativo del crecimiento económico sobre la conservación del recurso, como podrían ser la fijación de estándares técnicos en ciertos procesos o el apoyo financiero a la innovación tecnológica dirigida al ahorro de agua.

Esta tesis doctoral ha abordado algunas de las principales cuestiones relacionadas con la demanda de agua para actividades productivas no agrarias y ha prestado atención a ciertos aspectos que habían sido poco analizados hasta la fecha. Sin embargo, durante su desarrollo hemos detectado otros temas sobre los que se podría profundizar en un futuro y algunas prácticas que permitirían enriquecer la metodología dirigida al tratamiento de los datos de la demanda de agua.

Algunas de las posibles líneas futuras de avance de nuestra investigación son las siguientes: calcular el precio sombra del agua, tanto para el conjunto de España como para el municipio de Zaragoza, para conocer la disposición a pagar por el recurso por parte de los distintos usuarios; ofrecer un enfoque alternativo de la estimación del precio percibido mediante una modelización no lineal que permita obtener una estimación más precisa del parámetro de percepción del precio k ; abordar la fuerte heterogeneidad asociada al uso de agua, utilizando regresiones cuantílicas [Koenker y Basset (1978)]; analizar el autosuministro de agua ampliando el modelo de Heckman (1979) a un panel de datos, de forma que se tenga en cuenta la heterogeneidad de carácter individual y temporal; y estudiar el autosuministro de agua para el conjunto de la industria española, lo que posibilitaría llevar a cabo un análisis que atendiese a las peculiaridades de las distintas regiones españolas.

Bibliografía

- Agthe, D. E., Billings, R. B., Dobra, J. L. y Rafiee, K. (1986). «A simultaneous equation demand model for block rates». *Water Resources Research*, **22(1)**, pp. 1–4.
- Akaike, H. (1974). «A new look at the statistical model identification». *IEEE Transactions on Automatic Control*, **19(6)**, pp. 716–723.
- Angulo, A. M., Atwi, M., Barberán, R. y Mur, J. (2014). «Economic analysis of the water demand in the hotels and restaurants sector: Shadow prices and elasticities». *Water Resources Research*, **50(8)**, pp. 6577–6591.
- Arbués, F. y Barberán, R. (2012). «Tariffs for Urban Water Services in Spain: Household Size and Equity». *International Journal of Water Resources Development*, **28(1)**, pp. 123–140.
- Arbués, F., Barberán, R. y Villanúa, I. (2004). «Price impact on urban residential water demand: A dynamic panel data approach». *Water Resources Research*, **40**.
- Arbués, F., García Valiñas, M. A. y Martínez-Espiñeira, R. (2003). «Estimation of residential water demand: A state-of-the-art review». *Journal of Socio-Economics*, **32**, pp. 81–102.
- Arbués, F., García Valiñas, M. A. y Villanúa, I. (2010a). «Urban water demand for service and industrial use: The case of Zaragoza». *Water Resources Management*, **24(14)**, pp. 4033–4048.
- Arbués, F. y Villanúa, I. (2006). «Potential for pricing policies in urban water resource management: estimation of urban residential water demand in Zaragoza, Spain». *Urban Studies*, **43(13)**, pp. 2421–2442.
- Arbués, F., Villanúa, I. y Barberán, R. (2010b). «Household size and residential water demand: An empirical approach». *Agricultural and Resource Economics*, **54(1)**, pp. 61–80.
- Archibugi, D. (1988). «In search of a useful measure of technological innovation». *Technological Forecasting and Social Change*, **34**, pp. 253–277.
- Babin, F. J., Willis, C. E. y Allen, G. (1982). «Estimation of substitution possibilities between water and other production inputs». *American Journal of Agricultural Economics*, **64(1)**, pp. 148–151.
- Baerenklau, K. A., Schwabe, K. A. y Dinar, A. (2014). «The residential water demand effect of increasing block rate water budgets». *Land Economics*, **90(4)**, pp. 683–699.

- Bai, J. y Ng, S. (2004). «A PANIC attack on unit roots and cointegration». *Econometrica*, **72(4)**, pp. 1127–1177.
- Banco de España (2016). «Boletín estadístico». http://www.bde.es/bde/es/secciones/informes/boletines/Boletin_Estadist/
- Barberán, R., Costa, A. y Alegre, A. (2008). «Los costes de los servicios urbanos del agua. Un análisis necesario para el establecimiento y control de tarifas». *Hacienda Pública Española/Revista de Economía Pública*, **186(3)**, pp. 123–155.
- Barberán, R. y Domínguez, F. (2006). «Análisis y propuesta de reforma de la tasa que grava el consumo doméstico de agua». En: R. Barberán, F. Arbués y F. Domínguez (Eds.), *Consumo y Gravamen del Agua para Usos Residenciales en la Ciudad de Zaragoza*, pp. 103–227. Ayuntamiento de Zaragoza, Servicio de Cultura, Zaragoza.
- Barberán, R., Egea, P., Gracia-de-Rentería, P. y Salvador, M. (2013). «Evaluation of water saving measures in hotels: A Spanish case study». *International Journal of Hospitality Management*, **34**, pp. 181–191.
- Barberán, R. y Gracia-de-Rentería, P. (2012). «El uso de agua urbana e industrial. El caso de Zaragoza». *Revista de Economía Aragonesa*, **49**, pp. 107–122.
- Barkatullah, N. (1996). «OLS and instrumental variable price elasticity estimates for water in mixed-effects model under multiple tariff structure». *Informe técnico*, Department of Economics, University of Sydney.
- Bell, D. R. y Griffin, R. C. (2008). «An economic investigation of urban water demand in the U.S». *Informe técnico*, Texas Water Resources Institute, Texas A&M University.
- Beltran, J., White, B., Burton, M., Doole, G. y Pannell, D. (2013). «Determinants of herbicide use in rice production in the Philippines». *Agricultural Economics*, **44(1)**, pp. 45–55.
- Billings, R. B. (1982). «Specification of block rate price variables in demand models». *Land Economics*, **58(3)**, pp. 386–393.
- Billings, R. B. (1987). «Alternative demand model estimators for block rate pricing». *Journal of the American Water Resources Association*, **23**, pp. 341–345.
- Billings, R. B. y Agthe, D. E. (1980). «Price elasticities for water: A case of increasing block rates». *Land Economics*, **56(1)**, pp. 73–84.
- Blackorby, C. y Russell, R. B. (1989). «Will the real elasticity of substitution please stand up?» *The American Economic Review*, **79(4)**, pp. 882–888.
- Blundell, R. y Stoker, T. (2005). «Aggregation and heterogeneity». *Journal of Economic Literature*, **43**, pp. 347–391.

- Boland, J. J. y Whittington, D. (2001). «The political economy of water tariff design in developing countries: increasing block tariffs versus uniform price with rebate». En: A. Dinar (Ed.), *The Political Economy of Water Pricing Reforms*, pp. 215–236. Oxford University Press, Nueva York.
- Borenstein, S. (2009). «To what electricity price do consumers respond? Residential demand elasticity under increasing-block pricing». University of California at Berkeley Working Paper.
- Brealey, R. A., Myres, S. C. y Allen, F. (2013). *Principle of Corporate Finance*. McGraw-Hill/Irwin Series in Financial Insurance and Real Estate, New York.
- Brookshire, D. S., Burness, H. S., Chermak, J. M. y Krause, K. (2002). «Western urban water demand». *Natural Resources Journal*, **42**, pp. 873–898.
- Bruneau, J. y Renzetti, S. (2014). «A panel study of water recirculation in manufacturing plants». *Canadian Water Resources Journal/ Revue Canadienne des Ressources Hydriques*, **39(4)**, pp. 384–394.
- Bruneau, J., Renzetti, S. y Villeneuve, M. (2010). «Manufacturing firms' demand for water recirculation». *Canadian Journal of Agricultural Economics*, **58(4)**, pp. 515–530.
- Canizales, R. y Bravo, H. M. (2011). «Estudio sobre valoración económica y financiera del agua para el uso industrial del organismo de cuenca Lema Santiago Pacífico». *Informe técnico*, Conagua, Mexico D.F..
- Chambers, R. (1988). *Applied Production Analysis: A Dual Approach*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Charara, N., Cashman, A., Bonnell, R. y Gehr, R. (2011). «Water use efficiency in the hotel sector of Barbados». *Journal of Sustainable Tourism*, **19(2)**, pp. 231–245.
- CHE (2008a). «Aluvial del Ebro-Zaragoza». *Masas de agua subterráneas*, Confederación Hidrográfica del Ebro.
- CHE (2008b). «Aluvial del Gállego». *Masas de agua subterráneas*, Confederación Hidrográfica del Ebro.
- Chicoine, D., Deller, S. y Ramamurthy, G. (1986). «Water demand estimation under block rate pricing: A simultaneous equation approach». *Water Resources Research*, **22(6)**, pp. 859–863.
- Choi, I. (2001). «Unit root tests for panel data». *Journal of International Money and Finance*, **20(2)**, pp. 249–272.
- Choi, I. (2004). «Combination unit root tests for cross-sectionally correlated panels». En: P. Saikkonen y I. Choi (Eds.), *Econometric Theory and Practice: Frontiers of Analysis and Applied Research: Essays in Honor of Peter C.B. Phillips*, pp. 311–333. Cambridge University Press, Cambridge.

- Christensen, L. R. y Jorgeson, D. W. (1969). «The measurement of U.S. real capital input, 1929-1967». *Review of Income and Wealth*, **15(4)**, pp. 293–320.
- Christensen, L. R., Jorgeson, D. W. y Lau, L. J. (1971). «Conjugate duality and the transcendental logarithmic production function». *Econometrica*, **39**, pp. 255–256.
- Christensen, L. R., Jorgeson, D. W. y Lau, L. J. (1973). «Trascendental logarithmic production frontiers». *Review of Economics and Statistics*, **55(1)**, pp. 28–45.
- Cragg, J. (1971). «Some statistical models for limited dependent variables with application to the demand for durable goods». *Econometrica*, **39(5)**, pp. 829–844.
- Custodio, E. y Llamas, M. (1983). *Hidrología Subterránea*. Ediciones Omega, Barcelona.
- Dachraoui, K. y Harchaoui, T. M. (2004). «Water use, shadow prices and the Canadian business sector productivity performance». *Economic Analysis Research Paper Series 11F0027 n026*, Statistics Canada, Ottawa.
- De Rooy, J. (1974). «Price responsiveness of the industrial demand for water». *Water Resources Research*, **10(3)**, pp. 403–406.
- Deressa, T., Hassan, R. y Ringler, C. (2011). «Perception of and adaptation to climate change by farmers in the Nile Basin of Ethiopia». *Journal of Agricultural Science*, **149**, pp. 23–31.
- Deyà-Tortella, B., García, C., Nilsson, W. y Tirado, D. (2016). «The effect of the water tariff structure on the water consumption in Mallorcan hotels». *Water Resources Research*, **52**, pp. 6386–6403.
- Dickey, D. A. y Fuller, W. A. (1979). «Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root». *Journal of the American Statistical Association*, **74(366)**, pp. 427–431.
- Diewert, W. (1971). «An application of the Shephard duality theorem: a general Leontief production function». *The Journal of Political Economy*, **79**, pp. 481–507.
- Dupont, D. P. y Renzetti, S. (1998). «Water use in the Canadian food processing industry». *Canadian Journal of Agricultural Economics*, **46**, pp. 83–92.
- Dupont, D. P. y Renzetti, S. (2001). «The role of water in manufacturing». *Environmental and Resource Economics*, **18(4)**, pp. 411–432.
- Elliott, G., Rothenberg, T. J. y Stock, J. H. (1996). «Efficient tests for an autoregressive unit root». *Econometrica*, **64(4)**, pp. 813–836.
- Engle, R. y Granger, W. (1987). «Cointegration and error correction: representation, estimation and testing». *Econometrica*, **55(2)**, pp. 251–276.
- España (1960). «Decreto 140/1960 de 4 de febrero de 1960. Boletín Oficial del Estado, 5 de febrero de 1960, núm. 31».

- España (1985). «Ley 29/1985 de 2 de agosto de 1985. Boletín Oficial del Estado, 8 de agosto de 1985, núm. 189, p. 25123-25135».
- España (2001). «Ley 10/2001 de 5 de julio de 2001. Boletín oficial del Estado, 6 de julio de 2001, núm. 161, p. 24.228».
- European Commission (2016). «Weekly oil bulletin».
<https://ec.europa.eu/energy/en/data-analysis/weekly-oil-bulletin>
- European Community (2000). «Directive 2000/60/EC of the European Parliament and the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy (Official Journal of the European Communities L 327 of 22.12.2000)».
- European Environment Agency (2009). «Water resources across Europe. Confronting water scarcity and drought». *EEA Report 2/2009*, EEA, Copenhagen.
- European Environment Agency (2012). «Urban adaptation to climate change in Europe. Challenges and opportunities for cities together with supportive national and European policies». *EEA Report 2/2012*, EEA, Copenhagen.
- Eurostat (2016). «Energy Statistics».
<http://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/database>
- Eurostat (2016). «Water resources: long-term annual average».
<http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/ten00001>
- Foster, H. S. y Beattie, B. (1981). «Urban residential demand for water in the United States: Reply». *Land Economics*, **57(2)**, pp. 257–265.
- Féres, J. y Reynaud, A. (2005). «Assessing the impact of environmental regulation on industrial water use: Evidence from Brazil». *Land Economics*, **81(3)**, pp. 396–411.
- Féres, J., Reynaud, A. y Thomas, A. (2012). «Water reuse in Brazilian manufacturing firms». *Applied Economics*, **44(11)**, pp. 1417–1427.
- Fuentes, J. (1992). «Aguas subterráneas». *Hojas Divulgadoras 01/1992*, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.
- Fundación BBVA e Ivie (2015). «El stock y los servicios del capital en España y su distribución territorial y sectorial (1964-2013)».
http://www.fbbva.es/TLFU/microsites/stock09/fbbva_stock08_index.html
- García-Valiñas, M. A. (2005). «Fijación de precios para el servicio municipal de suministro de agua: Un ejercicio de análisis de bienestar». *Hacienda pública española*, **172(1)**, pp. 119–142.
- Gaudet, G. O., May, J. D. y McFetridge, D. G. (1976). «Optimal capital accumulation: The neoclassical framework in a Canadian context». *Review of Economics and Statistics*, **58(3)**, pp. 269–273.

- Giannoccaro, G., Castillo, M. y Berbel, J. (2016). «Factors influencing farmers' willingness to participate in water allocation trading. A case study in southern Spain». *Spanish Journal of Agricultural Research*, **14**(1).
- Gibbons, D. C. (1986). «Industry». En: D. C. Gibbons (Ed.), *The Economic Value of Water*, pp. 45–56. Resources for the Future, Washington D.C..
- Gibbs, K. (1978). «Price variable in residential water demand models». *Water Resources Research*, **14**(1), pp. 15–18.
- Gispert, C. (2004). «The economic analysis of industrial water demand: A review». *Government and Policy*, **22**, pp. 15–30.
- Gómez-Ugalde, S. C., Mora-Flores, J., García-Salazar, J. A. y Valdivia-Alcalá, R. (2012). «Demanda de agua para uso residencial y comercial». *Terra Latinoamericana*, **30**(4), pp. 337–342.
- Gopalakrishnan, C. y Cox, L. J. (2003). «Water consumption by the visitor industry: The case of Hawaii». *International Journal of Water Resources Development*, **19**(1), pp. 29–35.
- Grebenstein, C. R. y Field, B. C. (1979). «Substituting for water inputs in U.S. manufacturing». *Water Resources Research*, **15**(2), pp. 228–232.
- Griffin, R. (2006). *Water Resource Economics: The Analysis of Scarcity, Policies and Projects*. MIT Press, Cambridge.
- Guerrero, H. (2005). *Industrial Water Demand in Mexico: Econometric Analysis and Implications for Water Management Policy*. Tesis doctoral, Université de Toulouse 1.
- Guilkey, D. K. y Lovell, K. (1980). «On the flexibility of the translog approximation». *International Economic Review*, **21**(1), pp. 137–147.
- Hadri, K. (2000). «Testing for stationarity in heterogeneous panel data». *Econometrics Journal*, **3**(2), pp. 148–161.
- Hausman, J. A. (1978). «Specification tests in econometrics». *Econometrica*, **46**(6), pp. 1251–1272.
- He, J., Cheng, X., Shi, Y. y Li, A. (2007). «Dynamic computable general equilibrium model and sensitivity analysis for shadow price of water resource in China». *Water Resources Management*, **21**, pp. 1517–1533.
- Heckman, J. J. (1979). «Sample selection bias as a specification error». *Econometrica*, **47**(1), pp. 153–161.
- Hewitt, J. A. y Hanemann, W. M. (1995). «A discrete/continuous choice approach to residential water demand under block rate pricing». *Land Economics*, **71**(2), pp. 173–192.

- Höglund, L. (1999). «Household demand for water in Sweden with implications of a potential tax on water use». *Water Resources Research*, **35**, pp. 3853–3863.
- Hoque, S. (2014). *Water Conservation in Urban Households: Role of Prices, Policies and Technologies*. IWA Publishing, London.
- Hsiao, C. (2003). *Analysis of Panel Data*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K..
- IAEST (2015). «Estadística Local: Zaragoza».
<http://www.aragon.es/DepartamentosOrganismosPublicos/Organismos/InstitutoAragoneseEstadistica/AreasGenericas/ci.EstadisticaLocal.detalleDepartamento>
- IGME (2005). *Trabajos Técnicos Para La Aplicación De La Directiva Marco Del Agua En Materia De Aguas Subterráneas. Caracterización Adicional De La Masa De Agua Subterránea Del Aluvial Del Ebro-Zaragoza*. Dirección General del Agua, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- Im, K. S., Pesaran, M. H. y Shin, Y. (2003). «Testing for unit root in heterogeneous panels». *Journal of Econometrics*, **115**(1), pp. 53–74.
- INE (2009). «CNAE 2009. Clasificación Nacional de Actividades Económicas».
<http://www.ine.es/jaxi/menu.do?type=pcaxis&path=/t40/clasrev&file=inebase>.
- INE (2015a). «Encuesta industrial de empresas».
http://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736143952&menu=ultiDatos&idp=1254735576715
- INE (2015b). «Encuesta sobre el Suministro y Saneamiento del Agua».
http://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176834&menu=resultados&idp=1254735976602
- INE (2016). «Contabilidad Regional de España».
http://www.ine.es/inebmenu/mnu_cuentas.htm
- Ito, K. (2014). «Do consumers respond to marginal or average price? Evidence from nonlinear electricity pricing». *American Economic Review*, **104**(2), pp. 537–563.
- Jones, C. V. y Morris, J. R. (1984). «Instrumental price estimates and residential water demand». *Water Resources Research*, **20**(2), pp. 197–202.
- Koenker, R. y Basset, G. (1978). «Regression quantiles». *Econometrica*, **46**(1), pp. 33–50.
- Ku, S. J. y Yoo, S. H. (2012). «Economic value of water in the Korean manufacturing industry». *Water Resources Management*, **26**, pp. 81–88.
- Kulshreshtha, S. N. (1996). «Residential water demand in Saskatchewan communities: role played by block pricing system in water conservation». *Canadian Water Resources Journal/ Revue Canadienne des Ressources Hydriques*, **21**(2), pp. 139–155.

- Kumar, S. (2006). «Analysing industrial water demand in India: An input distance function approach». *Water Policy*, **8(1)**, pp. 15–29.
- Levin, A., Lin, C. F. y Chu, C. S. (2002). «Unit root tests in panel data: Asymptotic and finite-sample properties». *Journal of Econometrics*, **108(1)**, pp. 1–24.
- Linz, T. y Tsegai, D. W. (2009). «Industrial water demand analysis in the Middle Olifants sub-basin of South Africa». *Discussion Paper on Development Policy 130*, Center for Development Research (ZEF), Bonn University, Bonn, Germany.
- Liu, X., Chen, X. y Wang, S. (2009). «Evaluating and predicting shadow prices of water resources in China and its nine major river basins». *Water Resources Management*, **23**, pp. 1467–1478.
- Lynne, G. D. (1977). «Water price responsiveness and administrative regulation: The Florida example». *Southern Journal of Agricultural Economics*, **9(1)**, pp. 137–143.
- Lynne, G. D., Luppold, W. y Kiker, C. (1978). «Water price responsiveness of commercial establishments». *Journal of the American Water Resources Association*, **14(3)**, pp. 719–729.
- MAGRAMA (2009). «Realización de las tareas correspondientes al proceso de P.H., preparación, realización y publicación de borradores de planes de gestión de cuenca y de definición del programa de medidas en la cuenca intercomunitaria H. Ebro». *Informe técnico*, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid.
- Malla, P. B. y Gopalakrishnan, C. (1999). «The economics of urban water demand: The case of industrial and commercial water use in Hawaii». *International Journal of Water Resources Development*, **15(3)**, pp. 367–374.
- Mallows, C. L. (1973). «Some comments on Cp». *Technometrics*, **15(4)**, pp. 661–675.
- Martínez-Espiñeira, R. (2002). «Residential water demand in the northwest of Spain». *Environmental and Resource Economics*, **21(2)**, pp. 161–187.
- Martínez-Espiñeira, R. (2003). «Estimating water demand under increasing-block tariffs using aggregate data proportions of users per block». *Environmental and Resource Economics*, **26(1)**, pp. 5–23.
- Martínez-Espiñeira, R. (2007). «An estimation of residential water demand using cointegration and error correction techniques». *Journal of Applied Economics*, **10(1)**, pp. 161–184.
- Martínez-Espiñeira, R. y Nauges, C. (2004). «Is all domestic water consumption sensitive to price control?». *Applied Economics*, **35(15)**, pp. 1697–1703.
- McCarthy, M. (1967). «Approximation of the CES production function: A comment». *International Economic Review*, **8**, pp. 190–192.

- McFadden, D. (1974). «Conditional logit analysis of qualitative choice behavior». En: P. Zarembka (Ed.), *Frontiers in Economics*, pp. 105–142. Academic Press, New York.
- Meade, B. y González-Morel, P. (1999). «Improving water use efficiency in Jamaican hotels and resorts through the implementation of environmental management systems». *Journal of Contemporary Water Research and Education*, **115(1)**, pp. 39–45.
- Miles, J. A. y Ezzell, J. R. (1980). «The weighted average cost of capital, perfect capital markets and project life: A clarification». *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, **15(3)**, pp. 719–730.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2016). «Sistema Integrado de Información del Agua».
<http://www.mapama.gob.es/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/sia-/indicadores.aspx>
- Mitchell, G., McDonald, T., Wattage, P. y Williamson, P. (2000). «A standard industrial classification coded strategic planning model of industrial and commercial water demand for U.K. regions». *Water and Environmental Journal*, **14(3)**, pp. 226–232.
- Modigliani, F. y Miller, M. H. (1963). «Corporate income taxes and the cost of capital: A correction». *American Economic Review*, **53(3)**, pp. 433–443.
- Moeltner, K. y Stoddard, S. (2004). «A panel data analysis of commercial customers' water price responsiveness under block rates». *Water Resources Research*, **40(1)**.
- Moon, R. y Perron, P. (2004). «Testing for a unit root in panels with dynamic factors». *Journal of Econometrics*, **122(1)**, pp. 81–126.
- Moreno, L., Garrido, E., Azcón, A. y Durán, J. (2008). *Hidrogeología Urbana De Zaragoza*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- Nahman, A. y De Lange, W. (2012). «Valuing water for South African industries: A production function approach». *CSIR Report CSIR/NRE/SUSET/ER/2012/0049/A*, Council for Scientific and Industrial Research, Pretoria.
- Nauges, C. y Thomas, A. (2000). «Privately-operated water utilities, municipal price negotiation and estimation of residential water demand: The case of France». *Land Economics*, **76**, pp. 68–85.
- Nauges, C. y Thomas, A. (2003). «Long-run study of residential water consumption with an application to a sample of French communities». *Environmental and Resource Economics*, **26**, pp. 25–43.
- Nauges, C. y Whittington, D. (2010). «Estimation of water demand in developing countries: An overview». *The World Bank Research Observer*, **25(2)**, pp. 263–294.
- Nieswiadomy, M. y Molina, D. (1989). «Comparing residential water demand estimates under decreasing and increasing block rates using household data». *Land Economics*, **65**, pp. 280–289.

- Nieswiadomy, M. L. (1992). «Estimating urban residential water demand: Effects of price structure, conservation and education». *Water Resources Research*, **28(3)**, pp. 609–615.
- Nieswiadomy, M. L. y Cobb, S. (1993). «Impact of pricing structure selectivity on urban water demand». *Contemporary Policy Issues*, **11(3)**, pp. 101–113.
- Nieswiadomy, M. L. y Molina, D. J. (1991). «A note on price perception in water demand models». *Land Economics*, **67(3)**, pp. 352–359.
- Nordin, J. A. (1976). «A proposed modification of Taylor's demand analysis: Comment». *Bell Journal of Economics*, **7**, pp. 719–721.
- OECD (1999). «Industrial water pricing in OECD countries». *Informe técnico*, OECD Publishing, Paris.
- OECD (2010). «Pricing water resources and water and sanitation services». *Informe técnico*, OECD Publishing, Paris.
- Onjala, J. (2001). «Industrial water demand in Kenya: Industry behavior when tariffs are not bidding». Roskilde University Working Paper.
- Opaluch, J. J. (1982). «Urban residential demand for water in the United States: Further discussion». *Land Economics*, **58(2)**, pp. 224–227.
- Pedroni, P. (1999). «Critical values for cointegration tests in heterogeneous panels with multiple regressors». *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, **61(1)**, pp. 653–670.
- Pedroni, P. (2001). «Purchasing power parity tests in cointegrated panels». *The Review of Economic and Statistics*, **83(4)**, pp. 727–731.
- Pesaran, M. H. (2007). «A simple panel unit root test in the presence of cross-sectional dependence». *Journal of Applied Econometrics*, **22(2)**, pp. 265–312.
- Pezzey, J. C. V. y Mill, G. A. (1998). «A review of tariffs for public water supply». *Informe técnico*, Environment Agency, Rotherham.
- Phillips, P. C. B. y Perron, P. (1988). «Testing for a unit root in time series regression». *Biometrika*, **75(2)**, pp. 335–346.
- Polzin, P. E. (1984). «The specification of price in studies of consumer demand under block price scheduling: Additional empirical evidence». *Land Economics*, **60(3)**, pp. 306–309.
- Raggi, M., Sardonini, L. y Viaggi, D. (2013). «The effects of the Common Agricultural Policy on exit strategies and land re-allocation». *Land Use Policy*, **31**, pp. 114–125.
- Renwick, M. y Green, R. (2000). «Do residential water demand side management policies measure up? An analysis of eight California water agencies». *Journal of Environmental Economics and Management*, **40(1)**, pp. 37–55.

- Renzetti, S. (1988). «An econometric study of industrial water demands in British Columbia, Canada». *Water Resources Research*, **24**(10), pp. 1569–1573.
- Renzetti, S. (1992a). «Estimating the structure of industrial water demands: The case of Canadian manufacturing». *Land Economics*, **68**(4), pp. 396–404.
- Renzetti, S. (1992b). «Evaluating the welfare effects of reforming municipal water prices». *Journal of Environmental Economics and Management*, **22**, pp. 147–163.
- Renzetti, S. (1993). «Examining the differences in self- and publicly supplied firms' water demands». *Land Economics*, **69**(2), pp. 191–188.
- Renzetti, S. (2002). «Commercial and industrial water demands». En: S. Renzetti (Ed.), *The Economics of Water Demand*, pp. 35–49. Kluwer Academic, London.
- Renzetti, S. y Dupont, D. P. (2003). «The value of water in manufacturing». *CSEERGE Working Paper ECM 03-03*, University of East Anglia, Norwich, U.K.
- Revankar, N. (1971). «A class of variable elasticity of substitution production functions». *Econometrica*, **39**, pp. 61–71.
- Reynaud, A. (2003). «An econometric estimation of industrial water demand in France». *Environmental and Resource Economics*, **25**(2), pp. 213–232.
- Riegos del Alto Aragón (2008). «Memoria año 2008».
- Riegos del Alto Aragón (2012). «Memoria año 2012».
- Roth, E. (2001). «Water pricing in the E.U. A review». *EBB Publication 2001/002*, European Environment Bureau, Bruselas.
- Saleth, R. M. y Dinar, A. (2000). «Urban thirst: Water supply augmentation and pricing policy in Hyderabad City, India». *Technical Paper 395*, The World Bank, Washington D.C.
- Schefter, J. E. y David, E. L. (1985). «Estimating residential water demand under multi-tariffs using aggregate data». *Land Economics*, **61**(3), pp. 272–280.
- Schneider, M. y Whitlatch, E. E. (1991). «User-specific water demand elasticities». *Journal of Water Resources Planning and Management*, **117**(1), pp. 52–73.
- Shin, J. S. (1985). «Perception of price when price information is costly: Evidence for residential electricity demand». *The Review of Economic and Statistics*, **67**(4), pp. 591–598.
- Stone, J. C. y Whittington, D. (1984). «Industrial water demands». En: J. Kindler y C. S. Russell (Eds.), *Modeling Water Demands*, pp. 51–100. Academic Press, London.
- Taylor, L. D. (1975). «The demand for electricity: A survey». *Bell Journal of Economics*, **6**, pp. 74–110.

- Turnovsky, S. (1969). «The demand for water: Some empirical evidence on consumers' commodity uncertain in supply». *Water Resources Research*, **5(2)**, pp. 350–361.
- Vallés, J. y Zárate, A. (2013). «Environmental taxation and industrial water use in Spain». *Investigaciones Regionales*, **34(6)**, pp. 133–164.
- Varian, H. R. (2014). *Intermediate Microeconomics. A Modern Approach*. WW Norton & Company, New York.
- Wang, H. y Lall, S. (2002). «Valuing water for Chinese industries: A marginal productivity analysis». *Applied Economics*, **34(6)**, pp. 759–765.
- Westerlund, J. (2007). «Testing for error correction in panel data». *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, **69(6)**, pp. 709–748.
- Wichman, C. J. (2014). «Perceived price in residential water demand: Evidence from a natural experiment». *Journal of Economic Behavior and Organization*, **107(1)**, pp. 308–323.
- Williams, M. y Suh, B. (1986). «The demand for urban water by customer class». *Applied Economics*, **18(12)**, pp. 1275–1289.
- Winpenny, J. (1994). *Managing Water as an Economic Resource*. Routledge, London.
- World Bank (2015). «World Bank Statistics».
<http://data.worldbank.org/>
- World Water Assessment Programme (2009). «Water in a changing World». *The United Nations World Water Development Report 3*, UNESCO, Paris.
- World Water Assessment Programme (2012). «Managing water under uncertainty and risk». *The United Nations World Water Development Report 4*, UNESCO, Paris.
- Worthington, A. (2010). «Commercial and industrial water demand estimation: Theoretical and methodological guidelines for applied economics research». *Estudios de Economía Aplicada*, **28(2)**, pp. 237–258.
- Worthington, A. C. y Hoffman, M. (2008). «An empirical survey of residential water demand modeling». *Journal of Economic Surveys*, **22(5)**, pp. 842–871.
- Young, R. A. (1996). «Measuring economic benefits for water investments and policies». *Technical Paper 338*, The World Bank, Washington D.C.
- Zaied, Y. y Binet, M. (2015). «Modeling seasonality in residential water demand: The case of Tunisia». *Applied Economics*, **47(19)**, pp. 1983–1996.
- Zaied, Y. y Cheikh, N. (2015). «Modeling regional water consumption in Tunisia using panel cointegration second generation tests». *Journal of Quantitative Economics*, **13(2)**, pp. 237–251.

- Zhou, Y. y Tol, R. S. J. (2005). «Water use in China's domestic, industrial and agricultural sectors: An empirical analysis». Working Paper FNU-67 University of Hamburg.
- Ziegler, J. A. y Bell, S. E. (1984). «Estimating demand for intake water by self-supplied firms». *Water Resources Research*, **20(1)**, pp. 4–8.